University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

Evaluation of wood extraction with an agricultural tractor in the whole-tree method of poplar clear-felling operations

Majid Razdari Talesh[1] | Ramin Naghdi[2] | Mehrdad Nikooy[3*] | Farzam Tavankar[4]

1. Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. E- mail: majid.razdari.talesh@gmail.com
2. Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. E- mail: naghdir@yahoo.com
3. Corresponding Author, Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. E-mail: nikooy@guilan.ac.ir
4. Department of Forestry, Khalkhal Branch, Islamic Azad University, Khalkhal, Iran. E-mail: tavankar@iau.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 02 December 2024
Revised: 22 January 2025
Accepted: 31 January 2025
Published online: 05 March 2025

Keywords:
Efficiency,
Full tree,
Skidding,
Time study,
Wood harvesting.

ABSTRACT

Optimizing productivity is a prerequisite in forest logging. The use of farm tractors is one of the most common logging techniques for the primary transportation of wood-based forest products in forest plantations in northern Iran. This study aimed to evaluate the effective work cycle time, factors influencing skidding time, productivity, operational costs, and production costs of tree extraction using the ITM 800 4WD farm tractor. The research was conducted in the Haftdaghanan region of Sowmeh Sara County in Guilan Province. For the farm tractor, productivity was estimated, and a cycle time prediction model was developed using multiple regression analysis. Both fixed and variable costs were estimated, and total costs were calculated by combining machine and labor costs. The results showed that the average pure and gross hourly productivity were 4.68 and 4.28 m³, respectively, and the hourly system cost during productive time was 9,632,648 Rials. The most time-consuming work element was travel loaded (38%), followed by travel unloaded (26%). Skidding distance and log volume significantly affected productivity. The models introduced in this study can be used for planning, work optimization, and production and cost estimation under similar working conditions. This study demonstrates that in small forest areas with small tree diameters and suitable terrain conditions, farm tractors operate efficiently in skidding operations.

Cite this article: 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. *Journal of Forest and Wood Products*, 77 (4), 439-451. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2025.387893.1321

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2025.387893.1321

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب
سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir
شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۰۵۳۰
دانشگاه تهران

برآورد تولید و هزینهٔ عملیات خروج چوب با تراکتور کشاورزی ITM 800 در صنوبرکارهای مناطق جلگه‌ای گیلان

مجید رزداری تالش[۱] | رامین نقدی[۲] | مهرداد نیکوی[۳*] | فرزام توانکار[۴]

۱. گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، ایران. رایانامه: majid.razdari.talesh@gmail.com
۲. گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، ایران. رایانامه: naghdir@yahoo.com
۳. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، ایران. رایانامه: nikooy@guilan.ac.ir
۴. گروه جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خلخال، خلخال، ایران. رایانامه: fa.tavankar@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

کلیدواژه:
برداشت چوب،
تمام درخت،
چوبکشی،
کارایی،
مطالعهٔ زمانی.

چکیده

بهینه‌سازی بهره‌وری یک پیش‌نیاز در عملیات برداشت چوب از جنگل است. خروج چوب با تراکتور کشاورزی یکی از روش‌های حمل و نقل اولیهٔ در جنگل‌کاری‌های غرب استان گیلان است. هدف از این مطالعه، ارزیابی زمان یک نوبت چوبکشی، عوامل تأثیرگذار بر زمان یک نوبت چوبکشی، میزان تولید و هزینهٔ تولید در عملیات خروج درختان با استفاده از تراکتور کشاورزی ITM8004WD بود. این پژوهش در سری هفت‌دغنان در شهرستان صومعه‌سرا در استان گیلان انجام شد. در طی چهار روز، مطالعهٔ حرکت و زمان‌سنجی، ۸۹ دورهٔ چوبکشی انجام شد. با استفاده از رگرسیون چندگانهٔ مدل زمان و تولید برای تراکتور کشاورزی توسعه داده شد. هزینهٔ ثابت و متغیر برای تراکتور کشاورزی برآورد و مجموع هزینه‌ها از مجموع هزینهٔ ماشین و نیروی کار محاسبه شد. میانگین بهره‌وری خالص و ناخالص ساعتی به‌ترتیب ۴/۶۸ و ۴/۲۸ مترمکعب و هزینهٔ ساعتی سیستم ۹۶۳۲۶۴۸ ریال در ساعات کار مفید بود. زمان حرکت با بار (۳۸ درصد) و پس از آن حرکت بدون بار (۲۶ درصد) بیشترین زمان یک نوبت چوبکشی را به‌خود اختصاص داد. عوامل مؤثر بر تولید تراکتور کشاورزی فاصلهٔ چوبکشی و حجم بار در هر نوبت بود. مدل‌های معرفی‌شده در این مطالعه را می‌توان در برنامه‌ریزی، بهینه‌سازی کار و برآورد تولید و هزینه تحت شرایط کاری مشابه با آنچه در این مطالعه تجربه شد، استفاده کرد. این مطالعه نشان داد که استفاده از تراکتور مذکور در کار خروج درختان قطع شده به‌صورت تمام درخت در قطع نهایی جنگل‌کاری‌های صنوبر مناطق کم شیب با خاک مستحکم و زهکشی شده مقرون به صرفه است.

استناد: رزداری تالش؛ مجید، نقدی؛ رامین، نیکوی؛ مهرداد، توانکار؛ فرزام (۱۴۰۳). برآورد تولید و هزینهٔ عملیات خروج چوب با تراکتور کشاورزی ITM 800 در صنوبرکارهای مناطق جلگه‌ای گیلان. *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۷ (۴)، ۴۵۱–۴۳۹. DOI: https://doi.org/10.22059/jfwp.2025.387893.1321

© نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
https://doi.org/10.22059/jfwp.2025.387893.1321

۱. مقدمه

مدیریت توده‌های جنگلی با منشأ طبیعی به‌طور فزاینده‌ای به‌سمت ارتقای عملکردهایی اکولوژیک و محیط‌زیستی است. در این زمینه، تولید پایدار چوب از درختان صنوبر نقش به‌سزایی در تأمین نیاز چوبی کشور ایفا می‌کند که در بخش دولتی و خصوصی در قالب زراعت چوب در حال انجام است. علی‌رغم اهمیت صنوبر در تولید چوب برای صنایع، اطلاعات محدودی در مورد سطح زیرکشت، تولید به‌خصوص در بخش خصوصی، تعداد پیمانکاران بهره‌برداری، قیمت چوب، هزینه‌های کشت و در مجموع متغیرهای اقتصادی که مستقیماً در تولید چوب این گونه مؤثر هستند، در دسترس است. در این میان، افزایش هزینه‌های کارگری با افزایش قیمت چوب این گونه در بازار هم‌راستا نیست و تولیدکنندگان صنوبر برای حفظ درآمد ثابت و پایدار باید نسبت به کاهش هزینه‌های تولید اقدام نمایند. جنبه‌های زیادی از فرآیند تولید چوب صنوبر وجود دارد که می‌تواند از طریق به‌کارگیری علم و نوآوری بهینه شود. بنابراین، شناسایی صحیح این جنبه‌ها به‌عنوان اولین گام برای یافتن راه‌حل‌های جایگزین ضروری است. برای افزایش پایداری اقتصادی چوب صنوبر و بهره‌وری تولید و در نتیجه رقابت‌پذیری چوب در بازار، قطعاً تقویت و ارتقای سطح مکانیزاسیون ضروری است [۱]. مزیت‌های مکانیزاسیون از سال ۱۹۸۰ تاکنون مشهود بوده است و افزایش سطح مکانیزاسیون منجر به کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری در محوطه‌های برداشت چوب و افزایش ایمنی کارگران شده است [۲]. در توسعهٔ مکانیزاسیون قطع درختان روند تغییرات از اره‌موتوری به قیچی‌های قطع، فلربانچر و هاروستر منجر شده است. حمل‌ونقل اولیه هم با خروج چوب با استفاده از نیروی انسان و حیوان شروع و به ماشین‌آلات خروج چوب زمینی مانند تراکتورها، اسکیدرها، فورواردرها، سیستم‌های کابل هوایی، خروج با بالگرد منتهی شده است [۳]. حمل‌ونقل اولیه مهم‌ترین و پرهزینه‌ترین مرحلهٔ برداشت چوب است [۴] و چوبکشی زمینی یکی از متداول‌ترین روش‌های خروج چوب به‌خصوص در جنگل‌کاری‌های صنوبر و در کشورهای در حال توسعه است که عموماً متمرکز بر اسکیدرها و تراکتورهای کشاورزی است. در بسیاری از کشورها، بخش قابل توجهی از خروج چوب‌آلات با استفاده از تراکتورهای کشاورزی انجام می‌شود [۵]. با توجه به اینکه این ماشین‌آلات برای استفاده در چوبکشی زمینی طراحی نشده‌اند، تطبیق و تجهیز مناسب آنها برای این عملیات چوبکشی آنها را به ابزارهای مفید برای خروج چوب‌آلات به‌ویژه در مسیرهای چوبکشی تبدیل می‌کند [۶]. این ماشین‌آلات به‌دلیل مدیریت‌پذیری، مانورپذیری و اندازهٔ کوچک خود ارزشمندند [۷] و به‌دلیل اندازه و وزن کوچک خود نسبت به تراکتورهای تخصصی آسیب کمتری به محیط جنگل و فشار واحد کمتری را بر روی زمین اعمال می‌کنند [۸]. تراکتورهای کشاورزی بسیار متنوع بوده و از آنها برای کارهای متعددی در جنگل‌داری، کشاورزی و سایر صنایع استفاده می‌شود. در کشورهایی که کشاورزی شاخهٔ مهمی از اقتصاد با سنت طولانی است، تراکتورهای کشاورزی به‌طور گسترده در دسترس هستند و تطبیق آنها برای کار جنگلداری بر مبنای اقتصادی، یک انتخاب منطقی است [۹].

خروج چوب در جنگل‌کاری‌های صنوبر در غرب استان گیلان با استفاده از تراکتور کشاورزی متداول است و مطالعات مربوط به تولید و هزینهٔ آن توسط Mousavi و Nikooy (۲۰۱۴) در جنگلکاری‌های استان گیلان [۱۰]، Gilanipoor و همکاران (۲۰۱۲ab) در جنگل آموزشی دانشگاه تربیت‌مدرس [۷، ۱۱]، Jorgholami و Majnounian (۱۳۹۳) در جنگل خیرود [۱۲] Nikooy و همکاران (۲۰۱۴) در جنگلکاری‌های منطقهٔ هفت‌دغنان استان گیلان [۱۳] و Nikooy و همکاران (۲۰۱۸) در جنگل‌های آستارا گزارش شده است [۱۴]. Jourgholami و همکاران (۲۰۱۴) کارایی تراکتور کشاورزی در خروج چوب‌آلات کاتینی و هیزمی را در جنگل آموزشی–تحقیقاتی خیرود مورد مطالعه قرار دادند [۱۲]. عملکرد تراکتور کشاورزی در حمل الوار در جنگل تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس [۷، ۱۱]، خروج چوب به روش چوب کوتاه با تراکتور کشاورزی در جنگل‌کاری‌های منطقهٔ شیخ‌نشین شفارود [۱۳] و تمام‌تنه (چوبکشی) و گرده‌بینهٔ کوتاه (پیش حمل) در جنگل‌کاری‌های غرب استان گیلان مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۰].

سیستم‌های برداشت چوب باید با ویژگی‌های یک کشور مانند توپوگرافی، گونه‌های درختی، شرایط بازار و همچنین شرایط فنی، اجتماعی و اقتصادی آن کشور سازگار باشد. از این‌رو، طیف گسترده‌ای از فناوری‌ها و ابزارهای فنی برای برداشت و خروج چوب، در نقاط مختلف دنیا استفاده می‌شود [۱۵]. در بسیاری از کشورها، به‌ویژه در جنوب و شرق اروپا، بخش قابل توجهی از خروج چوب‌آلات با استفاده از تراکتورهای کشاورزی انجام می‌شود [۱۶]. سطح جنگلکاری‌های دولتی در استان گیلان، حدود ۱۲ هزار هکتار است که عمدتاً با استفاده از گونهٔ صنوبر انجام شده است. همچنین حدود ۴۳ هزار هکتار جنگلکاری خصوصی صنوبر وجود دارد که عموماً با

استفاده از گونه‌های صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides Bartr*) و اورامریکن (*Populus euramericana Guinier*) انجام شده است [۱۷]. برداشت در عرصه‌های دولتی و خصوصی عموماً به‌صورت نیمه‌مکانیزه و با استفاده از اره‌موتوری، تراکتورهای کشاورزی و اسکیدرهای چوبکشی انجام می‌شود. تراکتور ITM8004WD یک تراکتورهای کشاورزی است که استفاده از آن برای خروج چوب به روش تمام درخت در جنگل‌کاری‌های صنوبر در غرب استان گیلان متداول است. خروج چوب‌آلات با استفاده از تراکتورهای کشاورزی مزایایی مانند هزینهٔ خرید و نگهداری کمتر در مقایسه با اسکیدرهای چوبکشی دارد [۱۸، ۱۹]. مطالعات انجام شده در ارتباط با خروج چوب با تراکتور کشاورزی عمدتاً به‌صورت پیش‌حمل و به روش گرده‌بینهٔ کوتاه بوده است و تاکنون مطالعه‌ای در ارتباط با خروج چوب با تراکتور کشاورزی ITM8004WD انجام نشده است. این مطالعه، با هدف ارزیابی خروج چوب به‌روش تمام‌درخت، توسعهٔ مدل زمان‌سنجی برای اجزای اصلی کار خروج چوب و مطالعهٔ تولید و هزینهٔ خروج چوب در جنگل‌کاری‌های صنوبر با استفاده از تراکتور کشاورزی ITM8004WD بود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲–۱. منطقهٔ مورد مطالعه

این مطالعه در سری هفت‌دغنان در شهرستان صومعه‌سرا در استان گیلان انجام شد. این سری در طول جغرافیایی "۲۹'۲۹°۳۴ و عرض جغرافیایی "۸۹'۴۶°۴۱ واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع منطقه از سطح دریا حدود ۱۵ متر، میانگین دمای سالانه برابر ۱۲/۶۴ درجهٔ سانتی‌گراد، بارندگی سالیانه ۱۲۲۶ میلی‌متر، رطوبت سالیانه ۹۳ درصد و اقلیم خیلی مرطوب است. خاک‌های منطقه دارای بافت لومی‌رسی با تیپ خاک قهوه‌ای جنگلی است. مساحت جنگلکاری‌های سری هفت‌دغنان حدود ۲۵۲۷ هکتار است [۲۰].

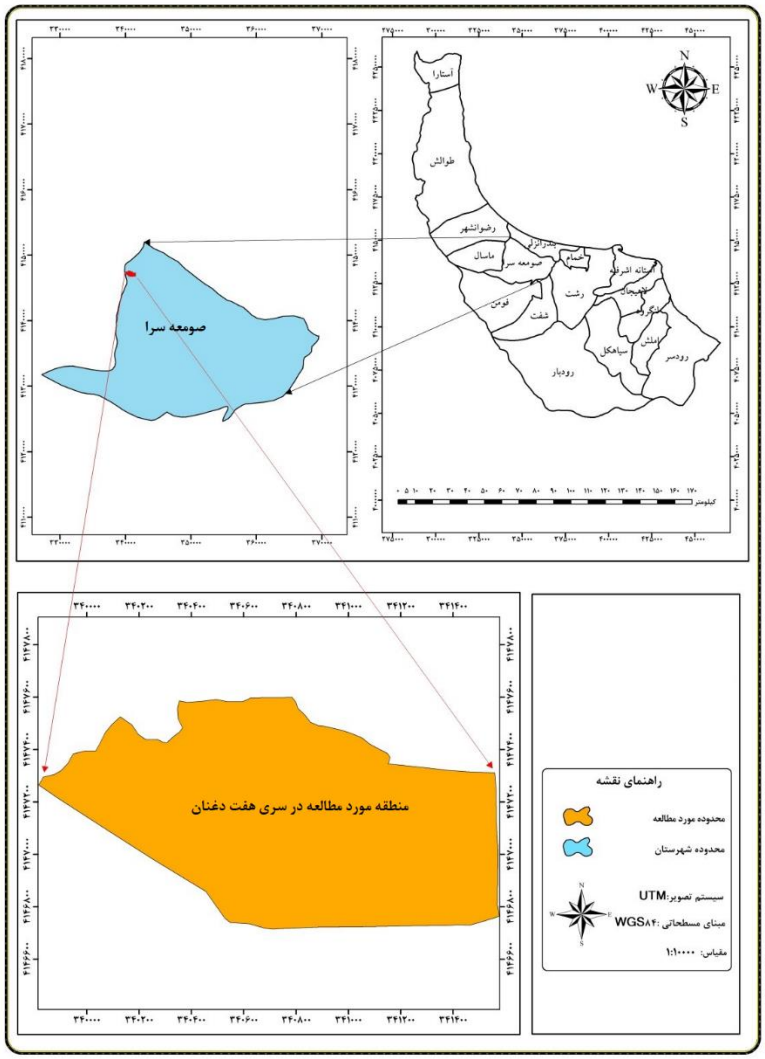
۲–۲. روش مطالعه

درختان صنوبر کاشته شده در سال ۱۳۷۳ با فاصلهٔ کاشت ۴×۳ متر و با تعداد در هکتار ۸۰۰ اصله در زمستان ۱۴۰۱ نشانه‌گذاری و در پاییز سال ۱۴۰۲ قطع شد. جنگلکاری دوبارهٔ منطقه با استفاده از نهال‌های صنوبر و در سال ۱۴۰۲ انجام شد. عملیات قطع درختان با استفاده از اره‌موتوری اشتیل MS070 و عملیات چوبکشی با استفاده از تراکتور کشاورزی و روی خاک تقریباً خشک و بدون طراحی مسیرهای چوبکشی انجام شد. میانگین حجم درختان مقطوعه ۰/۸۷۷ مترمکعب و میانگین ارتفاع آنها ۲۱/۹ متر بود. خروج درختان نشانه‌گذاری شده به روش تمام‌درخت در قطعه ۶/۲ سری هفت‌دغنان مورد مطالعه قرار گرفت. بعد از مطالعهٔ اولیه، تعداد ۸۹ نوبت چوبکشی به روش تمام درخت برای مطالعه انتخاب شد. درختان پس از قطع با اره‌موتوری به‌صورت تمام‌درخت و با استفاده از تراکتور کشاورزی ITM8004WD ساخت ایران از عرصهٔ جنگل خارج شد (جدول ۱). درختان با استفاده از زنجیر به مالبند تراکتور وصل و از عرصه جنگل خارج شدند (شکل ۲).

برای برآورد میزان تولید و هزینهٔ خروج یک مترمکعب چوب در سیستم چوبکشی مورد مطالعه از مطالعهٔ کار و زمان‌سنجی استفاده شد [۱۰]. اجزای یک نوبت چوبکشی شامل حرکت بدون بار، استقرار، جمع‌آوری بار، حرکت با بار و تخلیهٔ بار همراه با تأخیرهای شخصی، فنی و اجرایی بود. در شرایط طبیعی چوبکشی با تراکتور کشاورزی، داده‌های مربوط به اجزای یک نوبت چوبکشی با استفاده از زمان‌سنج و به روش زمان‌سنجی پیوسته جمع‌آوری شد [۷، ۱۱،۱۲]. همچنین حجم چوب انتقال یافته به دپو با اندازه‌گیری قطر و ارتفاع، محاسبهٔ حجم از جدول حجم دوعامله (قطر–ارتفاع) به‌دست آمد. قطر یقهٔ درختان در محل بستن زنجیر با استفاده از کالیپر اندازه‌گیری شد. در محاسبهٔ زمان ناخالص، تأخیرهای کمتر از ۱۵ دقیقه مد نظر قرار گرفت [۱۰، ۲۱]. تولید خالص و ناخالص ماشین چوبکشی با استفاده از رابطهٔ ۱ و ۲ محاسبه شد که در آن P_e و P_{ge} تولید ساعتی خالص و ناخالص (مترمکعب)، X_{vl}: حجم چوب خروجی به دپو (مترمکعب)، T_{tot} و T_{delay} به‌ترتیب زمان خالص و ناخالص (دقیقه) خروج است [۱۰، ۲۲، ۲۳].

$$P_e = \frac{60X_{vl}}{T_{tot}}$$ رابطهٔ ۱)

$$P_{ge} = \frac{60x_{vl}}{T_{tot}+T_{delay}}$$ رابطهٔ ۲)



شکل ۱. نقشهٔ منطقهٔ مورد مطالعه

شکل ۲. خروج چوب به روش تمام درخت با تراکتور کشاورزی ITM 800 4WD در منطقهٔ مورد مطالعه

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS 18.0 تحت ویندوز و برای مدل‌سازی از رگرسیون چند عامله استفاده شد. برای پیش‌بینی زمان یک نوبت چوبکشی دو تکنیک مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا بر مبنای زمان خالص برای هر یک از اجزای یک نوبت چوبکشی مدل زمان آن جزء تهیه شد. در روش دیگر، مدل زمانی چوبکشی برای تراکتورکشاورزی تهیه شد. مقدار احتمال (p)، آمارهٔ F و ضریب تعیین (R^2) برای معنی‌داری مدل مورد استفاده قرار گرفت. پس از وارد نمودن داده‌ها در نرم‌افزار و اطمینان از نرمال بودن آنها با استفاده از آزمون کولموگروف–اسمیرنف، از روش رگرسیون گام‌به‌گام برای برازش مدل استفاده شد و مدل با استفاده از متغیرهای وارد شده ایجاد شد. مجموع هزینه از تجمیع هزینه‌های ماشین و هزینهٔ پرسنلی به‌دست آمد (جدول ۵). هزینه‌های ثابت شامل هزینهٔ سرمایه‌گذاری، استهلاک، بیمه و مالیات بود. نرخ بهره بانکی برای سال ۱۴۰۲، ۲۲/۵ درصد در نظر گرفته شد. برای محاسبهٔ استهلاک ماشین، عمر مفید تراکتور ۱۰ سال در نظر گرفته شد. هزینه‌های متغیر شامل هزینهٔ لاستیک، هزینهٔ سوخت و روغن، هزینهٔ تعمیر و نگهداری و هزینه‌های کارگری هم شامل حقوق و مزایای شغلی راننده تراکتور بود. هزینهٔ سیستم از مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر (هزینهٔ ماشین) و هزینه‌های کارگری محاسبه شد. هزینهٔ واحد تولید از تقسیم هزینهٔ ساعتی سیستم به تولید ساعتی به‌دست آمد.

جدول ۱. مشخصات تراکتور کشاورزی ITM8004WD مورد استفاده در این مطالعه [۱۳]

حداکثر قدرت	۷۲ اسب بخار
تعداد سیلندر	۴
وزن روی محور جلو	۱۷۱۰ کیلوگرم
وزن روی محور عقب	۱۷۷۰ کیلوگرم
وزن کل	۳۴۸۰ کیلوگرم
طول (بازوی عقب به حالت افقی)	۴/۱۹ متر
عرض	۲/۶۰ متر
ارتفاع (بالای محافظ راننده)	۲/۵۲ متر
ارتفاع (روی فرمان)	۱/۸۵ متر
فاصلهٔ محورهای جلو و عقب	۲/۲۹ متر
شعاع چرخش (بدون ترمز)	۷/۴۷متر
فاصلهٔ از زمین (زیر مالبند)	۰/۳۸ متر
ظرفیت باک سوخت	۱۲۶ لیتر

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

مطابق با شکل ۳، زمان حرکت با بار (۱/۷۰±۴/۳۹ دقیقه) و بدون بار (۱/۱۹±۳/۰۶ دقیقه) بیشترین درصد زمان هر نوبت چوبکشی را تشکیل می‌دهند. تأخیرها در مجموع ۱۱/۶۲ درصد از زمان کل چوبکشی را تشکیل دادند که ۲۴/۸۰ درصد از این تأخیرها مربوط به تأخیر شخصی، ۳۹/۶۸ درصد مربوط به تأخیر فنی و ۳۵/۵۲ درصد مربوط به تأخیر اجرایی بود. زمان حرکت با بار (۳۸ درصد) بیشترین درصد زمان هر نوبت چوبکشی با تراکتور کشاورزی را تشکیل داد. بیشتر پژوهش‌های انجام شده در دنیا بر خروج چوب‌آلات با تراکتور به‌صورت گرده‌بینهٔ کوتاه متمرکز بوده است. در اکثر پژوهش‌های انجام شده با تراکتور و روش خروج گرده‌بینهٔ کوتاه، زمان جمع‌آوری بار و زمان حرکت با بار، بیشترین زمان یک نوبت چوبکشی را به‌خود اختصاص داده‌اند (جدول ۲).

۳–۱. مدل زمانی اجزای کاری

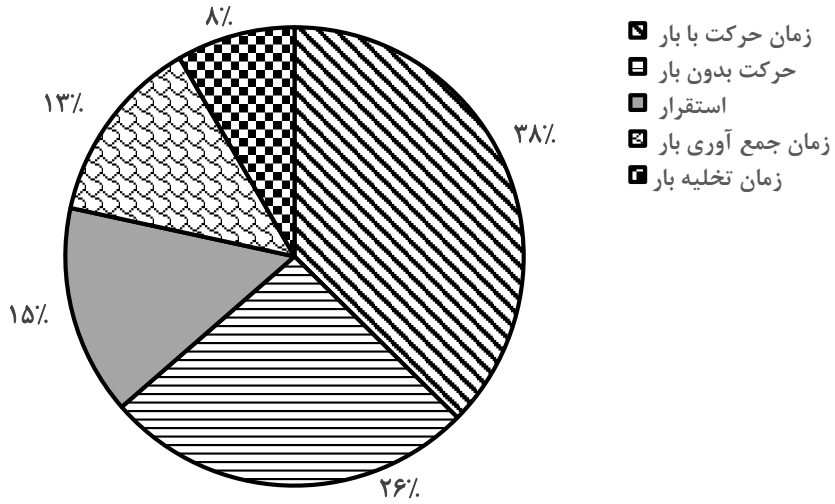
۳–۱–۱. حرکت بدون بار

فاصلهٔ چوبکشی (متر) تنها عامل تأثیرگذار بر زمان حرکت خالی تراکتور بودکه در آن t_1 زمان حرکت بدون بار (دقیقه) و $x_{distnca}$ فاصلهٔ چوبکشی (متر) است.

رابطهٔ ۳) $t_1 = 1 + 0.01X_{Distance}$

جدول ۲. مرور منابع مقایسهٔ بیشترین زمان اجزای یک نوبت چوبکشی با تراکتور کشاورزی

کشور	مدل تراکتور	روش خروج	بیشترین درصد زمان هر نوبت چوبکشی	محقق
ترکیه	Türk Fiat 450	گرده بینه	زمان حرکت با بار ۲۸ درصد	Gülci و همکاران (۲۰۱۸) [۲۲]
ایران	ITM 8502	گرده بینه	زمان حرکت با بار ۴۶/۱۵ درصد	Gilanipoor و همکاران (۲۰۱۲a) [۷]
ایران	ITM 8502	الوار	بارگیری ۴۲/۱۱ درصد	Gilanipoor و همکاران (۲۰۱۲b) [۱۱]
ایران	ITM 8502	کاتین و هیزم	بارگیری	Jourgholami و Majnounian (۲۰۱۴) [۱۲]
اسپانیا	فوروواردر	چوب کوتاه	بارگیری ۳۶ درصد	Spinelli و همکاران (۲۰۰۴) [۲۴]
ایران	ITM 8502	گرده بینه کوتاه	حرکت با بار ۴۴/۴۵ درصد	Nikooy و همکاران (۲۰۱۸) [۱۴]
ترکیه	تراکتور کشاورزی	روش تمام درخت	بارگیری ۴۹/۲ درصد	Gulci (۲۰۲۰) [۶]



شکل ۳. توزیع زمانی اجزای یک نوبت چوبکشی با تراکتور کشاورزی به روش تمام‌درخت

۳-۱-۲. زمان جمع‌آوری بار

قطر محل یقهٔ درختان (سانتی‌متر) مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر زمان جمع‌آوری بار بود که در آن t_2 زمان جمع‌آوری بار (دقیقه) و $x_{Diameter}$قطر محل یقهٔ درختان (سانتی‌متر) است.

رابطهٔ ۴) $t_2 = 0.788 + 0.022X_{Diameter}$

۳-۱-۳. زمان حرکت با بار

فاصلهٔ چوبکشی و حجم درخت مؤثرترین عامل‌های تأثیرگذار بر زمان حرکت با بار بودند که در آن t_3 زمان حرکت با بار (دقیقه)، $x_{Distance}$فاصلهٔ چوبکشی (متر) و x_{Volume}حجم درخت (مترمکعب) است.

رابطهٔ ۵) $t_3 = 0.958 + 0.014X_{Distance} + 0.685X_{Volume}$

زمان استقرار (دقیقه) و زمان تخلیهٔ بار (دقیقه) به هیچکدام از متغیرهای مورد مطالعه وابسته نبودند و میانگین آنها در هر نوبت چوبکشی به‌ترتیب ۱/۷۳ ±/۴۸ دقیقه و ۰/۹۸±۰/۳۱ دقیقه بود. مدل کلی زمان یک نوبت چوبکشی (بدون تأخیر) t_0 به دقیقه به‌صورت رابطهٔ ۶ و مدل زمانی تولید P_e (مترمکعب در ساعات کار مفید) تراکتور کشاورزی به‌صورت رابطهٔ ۷ به‌دست آمد.

رابطهٔ ۶) $t_0 = 2.884 + 0.25X_{Distance} + 0.116X_{Diameter}$

رابطهٔ ۷) $P_e = 2.963 + 4.452X_{Volume} - 0.012X_{Distance}$

آمار توصیفی مربوط به اجزای زمانی چوبکشی تمام درخت با تراکتور کشاورزی در منطقهٔ مورد مطالعه در جدول۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که زمان یک نوبت چوبکشی تحت تأثیر فاصلهٔ چوبکشی و قطر درختان است. ویژگی‌های آماری مربوط به مدل‌های رگرسیونی خروج چوب در جدول ۴ ارائه شده است. مطالعات متعددی برای پی بردن به تأثیر عوامل مختلف بر بهره‌وری و هزینه یا مقایسهٔ روش‌های مختلف خروج در کشورها، شرایط زمین و جایگاه متفاوت تراکتورها را بررسی کرده‌اند. در پژوهش Gilanipoor و همکاران (۲۰۱۲) متغیرهای فاصلهٔ چوبکشی و شیب به‌عنوان متغیرهای مؤثر بر زمان یک نوبت چوبکشی معرفی شدند [۱۱]. همچنین تعداد گرده‌بینه، حجم بار و فاصلهٔ چوب‌کشی به‌عنوان متغیرهای مؤثر در زمان یک نوبت چوبکشی در مطالعهٔ Nikooy و همکاران (۲۰۱۴) [۱۴]، متغیرهای فاصلهٔ چوبکشی و تعداد چوب‌آلات در مطالعهٔ Jourgholami و Majnounian (۲۰۱۴) [۱۲] و متغیرهای فاصلهٔ چوبکشی، شیب مسیر وینچ، فاصلهٔ وینچ، حجم و تعداد گرده‌بینه در مطالعهٔ Nikooy و همکاران (۲۰۱۸) [۱۳] گزارش شده است. تأثیر متغیرهای مختلفی مانند نوع تراکتور، قدرت آن، فاصلهٔ چوبکشی، شیب زمین، میانگین حجم بار در هر نوبت و حجم هر یک از گرده‌بینه‌ها و درختان مقطوعه بر روی تولید تراکتور کشاورزی در مطالعات Gülci (۲۰۲۰)، Cataldo و همکاران (۲۰۲۰)، Ozturk (۲۰۱۰)، Gülci و همکاران (۲۰۱۸)، Carey و همکاران (۲۰۱۸) و Spinelli و Baldini (۱۹۹۲) گزارش شده است [۶، ۲۵–۲۸].

جدول ۳. آمار توصیفی مربوط به اجزای زمانی چوبکشی تمام درخت با تراکتور کشاورزی در منطقهٔ مورد مطالعه

اجزای کاری	پارامتر(دقیقه)	تعداد	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
حرکت بدون بار	t_1	۸۹	۳/۰۶	۱/۱۷	۱/۱۹	۵/۷۴
استقرار	-	۸۹	۱/۷۳	۰/۴۸	۰/۸۳	۲/۵۰
جمع‌آوری	t_2	۸۹	۱/۵۳	۰/۳۰	۱/۰۸	۲/۸۳
حرکت با بار	t_3	۸۹	۴/۳۹	۱/۶۸	۱/۷۰	۸/۲۰
تخلیه	-	۸۹	۰/۹۷	۰/۳۱	۰/۵۰	۱/۵۰

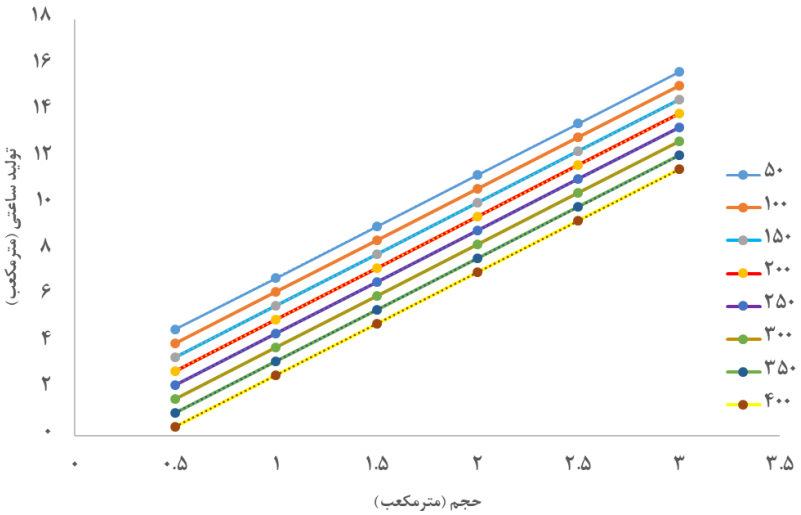
جدول٤. پارامترهای آماری مدل‌های مبتنی بر آنالیز رگرسیون

مدل	پارامتر	ضریب تعیین	آماره F		تعداد	متغیرها	ضرایب	خطای استاندارد	آزمون t	
			F	P					t	sig
حرکت بدون بار	t_1	۰/۸۱	۳۹۲/۰۸	۰/۰۰	۸۹	ضریب ثابت	۱/۰۰	۰/۱۱۷	۸/۵۳	۰/۰۰
						$X_{Distance}$	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۱۹/۸۰	۰/۰۰
جمع‌آوری بار	t_2	۰/۲۸	۳۴/۲۲	۰/۰۰	۸۹	ضریب ثابت	۰/۷۸۸	۰/۱۲۹	۶/۱۱	۰/۰۰
					۸۹	$X_{Diameter}$	۰/۰۲۲	۰/۰۰۴	۵/۸۵	۰/۰۰
حرکت با بار	t_3	۰/۹۱	۳۸۹/۳۸	۰/۰۰	۸۹	ضریب ثابت	۰/۹۵۸	۰/۱۷۱	۵/۵۹۰	۰/۰۰
					۸۹	X_{Volume}	۰/۶۸۵	۰/۰۰۱	۲۱/۱۲	۰/۰۰
					۸۹	$X_{Distance}$	۰/۰۱۴	۰/۱۲۸	۵/۳۵	۰/۰۰
زمان خالص	t_0	۰/۸۶	۲۶۴/۲۱	۰/۰۰	۸۹	ضریب ثابت	۲/۸۸	۰/۶۰۰	۲/۸۸	۰/۰۰
					۸۹	$X_{Distance}$	۰/۰۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۲۵	۰/۰۰
					۸۹	$X_{Diameter}$	۰/۱۱۶	۰/۰۱۷	۰/۱۱۶	۰/۰۰
تولید	P_e	۰/۹۱	۴۰۱/۲۱۹	۰/۰۰	۸۹	ضریب ثابت	۲/۹۶	۰/۲۱۹	۱۳/۵۰۵	۰/۰۰
					۸۹	X_{Volume}	۴/۴۵	۰/۱۶۴	۲۷/۱۳۳	۰/۰۰
					۸۹	$X_{Distance}$	-۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	-۱۳/۴۰۷	۰/۰۰

ضریب تعیین بالای مدل زمان حرکت بدون بار، حرکت با بار، زمان خالص چوبکشی و تولید، نشان‌دهندهٔ تأثیر بالای متغیرهای مستقل مرتبط با متغیرهای وابسته است. در مدل زمان جمع‌آوری بار، ضریب تعیین پایین مؤید نقش کم متغیر قطر درخت در تعیین مدل زمان جمع‌آوری بار است و ضروری است تا اثر متغیرهای دیگر بر روی زمان جمع‌آوری در مطالعات دیگر مورد بررسی قرار گیرد. مقادیر مربوط به حداقل، حداکثر زمان، حجم بار و تولید ساعتی با و بدون احتساب زمان‌های تأخیر در جدول ۵ ارائه شده است. میانگین زمان یک نوبت چوبکشی در زمان خالص ۱۱/۶۴ درصد کمتر از زمان ناخالص بود. میزان تولید براساس زمان خالص و زمان ناخالص محاسبه شد و نتایج نشان داد که مقدار تولید ساعتی خالص ۸ درصد بیشتر از تولید ناخالص است. اثر متغیرهای حجم بار در هر نوبت (مترمکعب) و فاصلهٔ چوبکشی (متر) بر میزان تولید تراکتور کشاورزی در شکل ۴ نشان داده است. با افزایش حجم بار در هر نوبت، میزان تولید افزایش یافت در حالی‌که افزایش فاصلهٔ چوبکشی میزان تولید ساعتی این ماشین را کاهش داد. کاهش فاصلهٔ چوبکشی و افزایش حجم بار در هر نوبت حداکثر میزان تولید را به‌همراه خواهد داشت. طراحی مسیرهای چوبکشی و استفاده از قطع هدایت‌شده و تهیهٔ بار کامل برای تراکتور می‌تواند در این بین بسیار مؤثر باشد.

جدول ۵. مقادیر آماری زمان یک نوبت چوبکشی، حجم بار در هر نوبت و تولید تراکتور کشاورزی

متغیر چوبکشی	میانگین زمان چوبکشی (دقیقه)	حداقل زمان چوبکشی (دقیقه)	حداکثر زمان چوبکشی (دقیقه)	میانگین حجم بار در هر نوبت (مترمکعب)	حداقل حجم بار در هر نوبت (مترمکعب)	حداکثر حجم بار در هر نوبت (مترمکعب)	میانگین تولید ساعتی (مترمکعب در ساعت)	حداقل تولید ساعتی (مترمکعب در ساعت)	حداکثر تولید ساعتی (مترمکعب در ساعت)
زمان خالص	۱۱/۶۸	۶/۸۰	۱۸/۹۰	۰/۹۰	۰/۰۶	۲/۷۲	۴/۶۸	۰/۴۲	۱۱/۰۹
زمان ناخالص	۱۳/۲۲	۶/۸۰	۳۱/۳۰	۰/۹۰	۰/۰۶	۲/۷۲	۴/۲۸	۰/۲۲	۱۱/۰۹



شکل ٤. اثر تغییرات فاصلهٔ چوبکشی (متر) و حجم بار در هر نوبت (مترمکعب) برای تولید ساعتی تراکتور کشاورزی

در این مطالعه، مقدار تولید تراکتور بدون در نظر گرفتن زمان تأخیر ۴/۶۸ مترمکعب در ساعت و با در نظر گرفتن زمان تأخیر ۴/۲۸ مترمکعب در ساعت بود و این در حالی بود که تراکتور از حداکثر ظرفیت حمل بار خود استفاده نکرد و حدود ۳۳ درصد از توان تراکتور به‌طور متوسط برای خروج چوب استفاده شد. یکی از محدودیت‌های استفاده از حداکثر ظرفیت حمل بار در این مطالعه، مشکل نصب زنجیر به انتهای درخت مقطوعه بود که امکان خروج بیش از یک درخت را در هر نوبت امکانپذیر نمی‌کرد و استفاده

از حداکثر توانایی حمل بار توسط تراکتور را محدود می‌کرد، هر چند استفاده از ظرفیت کامل برای حمل بار یک ماشین تقریباً امکانپذیر نیست. عدم استفاده از ظرفیت بار کامل در ماشین‌آلات جنگل در مطالعهٔ Laitila و همکاران (۲۰۰۷) در کشور فنلاند هم تأیید شده است. مطالعهٔ وی در عملیات تنک‌کردن در توده‌های توس نشان داد که Timberjack810B با ظرفیت حمل ۸/۵ تن در هر نوبت فقط از ۶۰ درصد ظرفیت حمل خود استفاده نموده است [۲۹]. استفادهٔ نزدیک به ۵۵ درصد ظرفیت فوروادر Ponse در توده‌های سوزنی‌برگ توسط Ghaffarian و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شده است [۳۰]. در پژوهش مشابهی در لهستان در توده‌های کاج، حداکثر کارایی تراکتور کشاورزی از حدود ۴۰ درصد شروع شده و در توده‌های توسکا به حدود ۷۵ درصد رسید [۳۱]. Spinelli و همکاران (۱۹۹۲) با مطالعهٔ خروج چوب با تراکتورهای Fiat4WD, Landini4WD و 4WD Carraro در ایتالیا نشان داد که میزان تولید ساعتی هر کدام از تراکتورها در فواصل چوبکشی ۴۸۵–۵۹ و ۱۱۱۹–۷۳ متر به‌ترتیب۶/۸–۲/۱ مترمکعب و ۵/۲–۴ مترمکعب است [۲۸]. Spinelli و Magagnotti (۲۰۱۲) با مطالعهٔ تولید شش مدل تراکتور در جنگل‌های کشور ایتالیا میزان تولید ساعتی آنها را بین ۱/۵ تا ۷/۹ مترمکعب برآورد نمودند [۳۲]. Cataldo و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعهٔ تولید دو مدل تراکتور HusqvarnaSilver110 و KrpanKL2200 در جنگل‌های جنوب کشور ایتالیا میزان تولید را به‌ترتیب ۲/۹ و ۵/۹ مترمکعب نشان دادند [۲۵]. Ozturk (۲۰۱۰) با مطالعهٔ تراکتور New HollandTD85D در جنگل‌های کشور ترکیه میزان تولید ساعتی این ماشین را ۱۱/۳–۷/۷ مترمکعب نشان داد [۲۶]. Gulci و همکاران (۲۰۱۸)، میزان تولید ساعتی تراکتور Türk Fiat 450 را در کشور ترکیه در دو کلاسهٔ شیب ۲۰ و ۳۰ درصد به‌ترتیب ۵/۷ و ۴/۳ مترمکعب برآورد نمودند [۶]. Ozturk و همکاران (۲۰۱۹) تولید ساعتی تراکتور Fiat 54C را در کشور ترکیه با متوسط فاصلهٔ چوبکشی ۳۸۵ متر حدود ۴/۷ مترمکعب نشان دادند [۳۳]. Gulci (۲۰۲۰) میزان تولید ساعتی تراکتور Tumason را در کشور ترکیه با فاصلهٔ چوبکشی ۹۰ متر حدود ۱۴/۳ مترمکعب نشان داد [۶]. Carey و همکاران (۲۰۱۸) در کشور شیلی تولید ساعتی تراکتور John Deere640 را در فاصلهٔ چوبکشی ۹۰–۴۰ در حدود ۵/۹–۲/۸ مترمکعب برآورد نمودند [۲۷]. Nikooy و همکاران (۲۰۱۸) در ایران تولید ساعتی تراکتور کشاورزی ITM 285 را در فاصلهٔ چوبکشی ۲۳۱ متر، در حدود ۲/۴۱ مترمکعب در جنگل‌های آستارا در شمال ایران برآورد نمودند [۱۴]. Mousavi و Nikooy (۲۰۱۴) هم میزان تولید ساعتی تراکتور کشاورزی مدل ۸۵۰۲ در جنگل‌های شمال ایران در متوسط فاصلهٔ چوبکشی ۱۶۷متر را ۳/۴۴ مترمکعب برآورد نمودند [۱۰]. Jourgholami و Majnounian (۲۰۱۴) تولید ساعتی خروج کاتین و هیزم با تراکتور کشاورزی در فاصلهٔ چوبکشی ۲۱۵ متر برای هیزم و ۲۲۲ متر برای کاتین به‌ترتیب ۳/۱۴–۲/۶۶ و ۴/۷۴– ۳/۸۳ مترمکعب (با و بدون احتساب زمان تأخیر) برآورد نمودند. در پژوهش Nikooy و همکاران (۲۰۱۴) در فاصلهٔ چوب‌کشی ۲۰۲ متر میزان تولید ساعتی خالص و ناخالص تراکتور کشاورزی به‌ترتیب ۵/۶۶ و ۵/۳۴ مترمکعب بود [۱۳].

مطالعهٔ هزینه‌های تولید نشان داد که هزینهٔ سیستم خروج چوب با تراکتور کشاورزی به‌صورت تمام‌درخت ۹۶۳۲۶۴۸ ریال معادل ۱۶/۰۵ دلار و هزینهٔ واحد تولید با و بدون احتساب تأخیر به‌ترتیب ۲۱۴۱۷۹۶ (۳/۴۳ دلار) و ۲۳۴۰۱۳۶ (۳/۷۵ دلار) است (جدول ۶). Gilanipoor و همکاران (۲۰۱۲a) در مطالعهٔ عملکرد تراکتور کشاورزی و سیستم سنتی در حمل الوار و بهترین ترکیب آنها را در جنگل آموزشی–پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس هزینهٔ خروج هر مترمکعب چوب با تراکتور کشاورزی را ۷۸۴۳۴ ریال (۲/۰۶ دلار) برآورد نمودند [۷]. Nikooy و همکاران (۲۰۱۴) با مطالعهٔ تولید و هزینهٔ خروج چوب با تراکتور کشاورزی هزینهٔ خروج هر مترمکعب چوب را ۸۸۱۹۶ ریال (۲/۴۸ دلار) برآورد نمودند [۱۴]. Jourgholami و Majnounian (۲۰۱۴) با مطالعهٔ ارزیابی کارایی تراکتور کشاورزی در خروج چوب‌آلات کاتینی و هیزمی، هزینهٔ خروج هر مترمکعب چوب کاتینی و هیزم را به‌ترتیب ۱۳۲۷۳۰ (۳/۷۳ دلار) و ۱۹۰۹۶۰ ریال (۵/۳۷ دلار) به‌دست آوردند [۱۲]. Nikooy و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعهٔ خروج چوب درختان بادافتاده با تراکتور کشاورزی مجهز به وینچ، هزینهٔ واحد تولید را ۱۶۲۴۱۸ ریال (۴/۷۴ دلار) برآورد نمودند [۱۳]. Mousavi و Nikooy (۲۰۱۴) با مقایسهٔ تولید و هزینهٔ خروج چوب به تراکتور کشاورزی و اسکیدر چرخ لاستیکی در شمال ایران، هزینهٔ خروج هر مترمکعب چوب با تراکتور کشاورزی را ۵/۸۶ دلار برآورد نمودند [۱۰].

جدول ٦. خلاصهٔ پارامترهای محاسبهٔ هزینهٔ خروج چوب با تراکتور کشاورزی

عامل هزینه	ارزش	عامل هزینه	هزینه
قیمت خرید (ریال)	۷۹۰۰۰۰۰۰۰۰	ارزش سرمایه‌گذاری سالیانه (ریال)	۷۱۱۰۰۰۰۰۰
ارزش اسقاطی (ریال)	۷۹۰۰۰۰۰۰	استهلاک سالیانه (ریال)	۱۰۵۷۶۱۲۵۰۰
عمر مفید (سال)	۱۰	بیمه و مالیات (ریال)	۱۶۶۸۶۱۲۵۰
عمر تایر (ساعت)	۳۰۰۰	مجموع هزینهٔ ثابت سالیانه (ریال)	۱۹۴۵۴۷۳۷۵۰
قیمت تایر	۲۴۰۰۰۰۰۰۰	هزینهٔ تعمیر و نگهداری (ریال)	۶۳۹۹۰۰۰۰۰
تعداد تایر	۴	هزینه سوخت و روغن و گریس (ریال)	۷۷۷۶۰۰۰۰
فاکتور هزینهٔ تعمیر	۰/۹	هزینهٔ تایر (ریال)	۱۰۸۰۰۰۰۰۰
ساعات کار برنامه‌ریزی شده	۱۲۰۰	مجموع هزینه‌های متغیر (ریال)	۱۲۳۲۴۹۶۰۰
ساعات کار مفید	۹۰۰	مجموع هزینه‌های کارگری (ریال)	۵۷۷۵۰۰۰۰۰۰
نرخ بهره‌وری	۷۵ درصد	مجموع هزینه‌ها (ریال)	۸۶۶۹۳۸۳۳۵۰
تولید خالص (مترمکعب) هزینهٔ واحد تولید	۴/۶۸ ۲۱۴۱۷۹۶ ریال ۳/۴۳ دلار	هزینهٔ سیستم (مفید)	۹۶۳۲۶۴۸ ریال ۱۶/۰۵ دلار
تولید ناخالص (مترمکعب) هزینهٔ واحد تولید	۴/۲۸ ۲۳۴۰۱۳۶ ریال ۳/۷۵ دلار	هزینهٔ سیستم (برنامه‌ریزی شده)	۷۵۱۸۰۴۰ ریال ۱۲/۱۳ دلار

۴. نتیجه‌گیری

خروج چوب با تراکتور کشاورزی به‌صورت تمام‌درخت نوعی چوبکشی متکی به کارگر است که عملیات جمع‌آوری بار و تخلیهٔ آن با دست صورت می‌گیرد. سیستم‌های برداشت با استفاده از تراکتورهای کشاورزی به‌دلیل سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملیاتی نسبتاً پایین‌تر در مقایسه با سیستم‌های برداشت کاملاً مکانیزه، به‌طور گسترده در عملیات جنگل‌های مقیاس کوچک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این مطالعه، بهره‌وری عملیات چوبکشی با تراکتور کشاورزی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و اثرات فاصلهٔ چوبکشی و قطر درخت بر بهره‌وری بررسی شد. نتایج نشان داد که عملیات چوبکشی باید با در نظر گرفتن عوامل اصلی تأثیرگذار بر زمان یک نوبت چوبکشی به‌خوبی برنامه‌ریزی شود. بررسی هزینه‌های واحد تولید نشان داد که با توجه به قیمت بالای چوب در منطقهٔ مورد مطالعه (۵۰ میلیون ریال معادل ۸۷/۷ دلار به ازای هر مترمکعب) و هزینهٔ پایین خروج چوب با تراکتور کشاورزی، استفاده از این وسیله برای خروج چوب، اقتصادی به‌نظر می‌رسد. تجهیز این ماشین به بازوهای بارگیری امکان بکارگیری کامل این ماشین را در عرصه‌های جنگل‌کاری فراهم می‌کند تا از این طریق میزان تولید افزایش و هزینه‌های واحد تولید کاهش یابد. مدل‌های به‌دست‌آمده در این مطالعه در برآورد تولید و هزینهٔ خروج چوب و بهینه‌سازی تولید در عرصه‌های مشابه قابل استفاده است. با توجه به استفاده از این ماشین در عملیات خروج چوب در عرصه‌های جنگل‌کاری شده، نتایج این مطالعه می‌تواند اطلاعات مناسبی جهت برنامه‌ریزی کارآمد عملیات برداشت چوب در اختیار مدیران بهره‌برداری و پیمانکاران خصوصی قرار دهد. موضوع نصب کمان و سالکی برای افزایش کارایی تراکتورهای کشاورزی و بحث ایمنی استفاده از این ماشین‌آلات برای مطالعات بعدی پیشنهاد می‌شود.

۵. منابع

[1] Di Stefano, V., Di Domenico, G., Menta, M., Pontuale, E., Bianchini, L., & Colantoni, A. (2024). Comparison between Different Mechanization Systems: Economic Sustainability of Harvesting Poplar Plantations in Italy. *Forests*, 15(3), 1-16.

[2] Verani, S., Sperandio, G., Civitarese, V., & Spinelli, R. (2017). Harvesting mechanization in plantations for wood production: working productivity and costs, *Italian Society of Silviculture and Forest Ecology*, 14, 237-246.

[3] Lewark, S. (2022). Work in tropical forests. Springer.301p.

[4] Kulak, D., Stańczykiewicz, A., Szewczyk, G. (2020). Influence of the logging season on the condition of topsoil layers. *Forestry Letters*, 113, 1-7.

[5] Spinelli, R., Magagnotti, N., Lombardini, C., & Leonello, E.C. (2021). Cost-effective integrated harvesting of short-rotation poplar plantations. *Bioenergy Research*, 14(2), 460-468.

[6] Gulci, S. (2020). Productivity of a farm tractor with single drum winch during whole-tree timber extraction. *Šumarski List*, 144(1-2), 35-42.

[7] Gilanipoor, N., Najafi, A., Heshmat Alvaezin, S.M. (2012[a]). Productivity and cost of farm tractor skidding. *Journal of Forest Science*, 58(1): 21–26.

[8] Kulak, D., Stańczykiewicz, A., Szewczyk, G., Lubera, A., Strojny, T. (2015). Factors affecting the changes in penetration resistance of forest soils during timber harvesting, *Sylwan*, 159(4), 318-325.

[9] Spinelli, R., Magagnotti, N., Pari, L., & De Francesco, F. (2015). A comparison of tractor-trailer units and high-speed forwarders used in Alpine forestry. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30(5), 470-477.

[10] Mousavi, S.R., & Nikooy, M. (2014). Evaluation of tree forwarding by farm tractor in patch cutting of poplar plantations in Northern Iran, *Small-scale Forestry*, 13, 527-540.

[11] Gilanipoor, N., Najafi, A., Heshmatalvaezin, S, M. (2012[b]). Optimum combination of animal and farm tractor skidding systems in wood harvesting. *Forest and Wood Products*, 65(1), 71-82. (In Persian)

[12] Jourgholami, M., & Majnounian, B. (2014). Productivity of timber extraction using farm tractor equipped with trailer, case study: in Kheiroud forest in northern Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(2), 332-346. (In Persian)

[13] Nikooy, M., Naghdi, R., & Esmail Nezhad, A. (2014). Production and Cost of Wood Extraction using Farm Tractor Case Study: Sheikhneshin Plantation Area in Shafaroud Watershed. *Forest and Wood Products*, 67(1), 47-59. (In Persian)

[14] Nikooy, M., Sodayi, S., & Karamzadeh, S. (2018). Study of wind fall trees extraction using farm tractor equipped by winch, *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 6(2), 83-95.

[15] Spinelli, R., Cacot, E., Mihelić, M., Nestorovski, L., Mederski, P., Tolosana, E. (2016). Techniques and productivity of coppice harvesting operations in Europe: a meta-analysis of available data. *Annals of Forest Science*, 73(4), 1125-1139.

[16] Ünver-Okan, S. (2020). Modelling of Work Efficiency in Cable Traction with Tractor Implementing the Least-Squares Methods and Robust Regression. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 41(1), 109-117.

[17] Ahmadloo F, Rezaei A, Farahpour M, Calagari M, Mehrabi A. (2021). Investigating the area and production of poplar plantations in Sowme`eh Sara city using field data and GIS. *Ecology of Iranian Forest,* 9(18), 159-168. (In Persian)

[18] Akay, A.E. (2005). Using farm tractors in small-scale forest harvesting operations. *Journal of Applied Sciences Research*, 1(2), 196-199.

[19] Shaffer, R.M. (2009). Farm tractor logging for woodlot owners. College of Natural Resources. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, USA, 5 p.

[20] Anonymous (2015). Forestry Revision Plan for Haft Daghanan and Sheikh Neshin Series. consulting engineers Alborz Sabz Designers. Rasht, Iran, 115p.

[21] Ounekham, K. (2009). Developing volume and taper equations for Styrax tonkinensis in Laos, Master of Forestry Science, University of Canterbury, New Zealand, 90 p.

[22] Gülci, S., Büyüksakallı, H.H., Taş, İ., & Akay, A.E. (2018). Productivity analysis of timber skidding operation with farm tractor. *European Journal of Forest Engineering*, 4(1), 26-32.

[23] Gagliardi, K., Simon A., & Pierre A. (2020). Multi-product forwarder-based timber extraction: Time consumption and productivity analysis of two forwarder models over multiple products and extraction distances, *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 41(2), 1-12.

[24]Spinelli, R., Owende, P.M., Ward, S.M., & Tornero, M. (2004). Comparison of short-wood forwarding systems used in Iberia. *Silva Fennica*, 38(1), 85-94.

[25] Cataldo, M. F., Proto, A. R., Macrì, G., & Zimbalatti, G. (2020). Evaluation of different wood harvesting systems in typical Mediterranean small-scale forests: A Southern Italian case study. *Annals of Silviculture Research*, 45(1), 1-11.

[26] Özturk, T. (2010). Productivity of New Holland farm tractor at beech stands on mountainous areas in Black Sea Region. *Forestry Ideas*, 16(1): 39.

[27] Carey, P., Labbé, R., Trincado, G., Thiers, O., & Gárate, D. (2018). Productivity and costs of two low-investment biomass harvesting systems applied in a situation of mixed forest of semi-natural regeneration. *Bosque*, 39(3), 419-430.

[28] Spinelli, R., & Baldini, S. (1992). Productivity and cost analysis of logging arch used with farm tractor in mediterranean forest skidding operations. *Forest Systems*, 1(2), 211-221.

[29] Laitila, J., Asikainen, A., Nuutinen, Y. (2007). Forwarding of whole trees after manual and mechanized felling bunching in pre-commercial thinning. *International Journal of Forest Engineering*, 18(2), 29-39.

[30] Ghaffarian, M,R., Stampfer, K., & Sessions, J. (2007). Forwarding productivity in southern Austria. Croatian Journal of Forest Engineering, *Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 28(2), 169-175.

[31] Kormanek, M., & Fiszer, M. (2018). Analysis of performance of short tree logging with farm tractor and logging trailer. *Agricultural Engineering*, 22(2), 29-38.

[32] Spinelli, R., Magagnotti, N. (2012). Wood extraction with farm tractor and sulky: estimating productivity; cost and energy consumption. *Small-Scale Forestry*, 11(1), 73-85.

[33] Öztürk, T., Varsak, M., & Bilici, E. (2019). Evaluating productivity and cycle time of skidding method with farm tractors in Bigadic Forest Enterprise Directorate in Turkey. *European Journal of Forest Engineering*, 5(2), 77-82.