فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۲ شماره ۲، صفحه ۳۴۶-۳۳۲، (۱۳۹۳)

ارزیابی کارایی تراکتور کشاورزی در خروج چوب‌آلات کاتینی و هیزمی (مطالعه موردی: جنگل خیرود)

مقداد جورغلامی[۱*] و باریس مجنونیان[۲]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. پست الکترونیک: mjgholami@ut.ac.ir
۲- استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۴

چکیده

در جنگل‌های شمال ایران تراکتورهای کشاورزی مجهزشده به تریلی با دو چرخ، به‌طور فراوانی برای عملیات پیش‌حمل چوب‌آلات کاتینی و هیزمی استفاده می‌شود. این مطالعه به‌منظور ارزیابی کارایی، نرخ تولید، هزینه و مدل رگرسیونی پیش‌بینی زمان چوبکشی سیستم بهره‌برداری با تراکتور در حمل چوب‌آلات کاتینی و هیزمی در بخش گرازبن جنگل خیرود انجام شده است. در این تحقیق از روش مطالعه زمانی پیوسته استفاده شده است. مدل رگرسیونی نشان داد که فاصله چوبکشی و تعداد چوب در هر بار مهمترین عوامل تأثیرگذار بر کارایی و تولید در حمل چوب با تراکتور کشاورزی هستند. در این تحقیق میزان تولید ساعتی سیستم چوبکشی با تراکتور با درنظر گرفتن زمان‌های تأخیر در حمل کاتین و هیزم، به‌ترتیب برابر ۲/۶۶ و ۳/۸۳ مترمکعب در ساعت است. با افزایش فاصله چوبکشی، مجموع زمان چوبکشی یک سیکل افزایش می‌یابد. به‌علاوه تولید سیستم هم کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله چوبکشی، کارایی تراکتور کشاورزی به‌صورت رابطه لگاریتمی کاهش می‌یابد. هزینه سیستم خروج چوب با تراکتور کشاورزی برابر ۵۰۸۶۳۵ ریال است. هزینه واحد تولید با احتساب زمان‌های تأخیر، برای عملیات حمل چوب‌آلات کاتینی و هیزمی به‌ترتیب برابر ۱۳۲۷۳۰ و ۱۹۰۹۶۰ ریال بر مترمکعب به‌دست آمد. با افزایش فاصله چوبکشی، هزینه سیستم خروج چوب با تراکتور به‌صورت رابطه توانی افزایش‌یابنده است. زمان اجزای یک سیکل کار خروج چوب نشان داد که جزء بارگیری بیشترین زمان را لازم دارد، به‌خاطر اینکه عملیات جمع‌آوری و بارزدن چوب‌آلات به تریلی به‌شیوه دستی و فیزیکی است که عملیاتی به‌شدت وقت‌گیر است. عملیات پیش‌حمل با تراکتور کشاورزی با مزیت‌هایی مانند ظرفیت بار بزرگتر و انتقال چوب از پای کنده تا دپو بدون تماس با زمین، گزینه مناسبی برای خروج چوب‌آلات کاتینی و هیزمی در عرصه‌های با شیب ملایم در جنگل‌های هیرکانی است.

واژه‌های کلیدی: خروج چوب، تراکتور کشاورزی، کاتین، هیزم، مطالعه زمانی، جنگل خیرود.

مقدمه

در بسیاری از کشورهای دنیا تراکتورهای کشاورزی ماشین‌های چندکاره‌ای هستند که عموماً در کارهای کشاورزی و جنگلداری از آنها استفاده می‌شود. در بخش جنگلداری، تراکتورهای کشاورزی تغییر شکل یافته و برای خروج چوب از کنار کنده تا دپو مورد استفاده قرار می‌گیرند. گاهی این تغییرشکل به‌صورت نصب یدک‌کش به انتهای تراکتور، تجهیز تراکتور به چنگک و همچنین نصب بازوی بارگیری برای بارگیری و تخلیه چوب‌آلات است. در کشورهای درحال‌توسعه استفاده از ماشین‌آلات مکانیزه به‌خاطر سرمایه‌گذاری اولیه بالا و مصرف زیاد سوخت که در ارتباط با قیمت زیاد سوخت می‌باشد، اقتصادی نیست،

بنابراین در مناطق مسطح و کم‌شیب استفاده از تراکتورهای کشاورزی که درمقایسه با سایر ماشین‌آلات مکانیزه بهره‌برداری دارای سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های عملیاتی کمتری می‌باشند، مناسب‌تر به‌نظر می‌رسد. تراکتورهای کشاورزی با ایجاد تغییراتی می‌توانند به‌عنوان ماشین‌های چوبکشی استفاده شوند (Dykstra & Heinrich, 1996; Russell & Mortimer, 2005). این تغییرات شامل وینچ چوبکشی، تجهیزات کابین، تیغه، صفحه محافظ بخش زیرین بدنه و زنجیر چرخ هستند. چوکرها هم ممکن است به‌طور مستقیم به مالبند متصل شوند (Greulich *et al*., 1999).

مرفولوژی و ساختار تجهیزات و اتصالات چوبکشی و یدک تراکتورهای کشاورزی به‌منظور عملیات چوبکشی بررسی و تأثیر آنها بر توده باقیمانده و خاک جنگل ارزیابی شده است (Šušnjar *et al*., 2008). تولید، هزینه و مصرف انرژی در عملیات چوبکشی با تراکتور کشاورزی مجهز به کمان و سالکی بررسی و نتیجه‌گیری شد که بسته به قدرت تراکتور و تعداد خدمه، متوسط حجم بار در هر سیکل و تولید به‌ترتیب برابر ۲ مترمکعب در هر سیکل و ۴ مترمکعب به‌ازای ساعات کار برنامه‌ریزی‌شده (Scheduled Machine Hour) است و حداکثر تولید در تراکتورهای سنگین با اندازه بزرگ گرده‌بینه برابر با ۸ مترمکعب به‌ازای ساعات کار برنامه‌ریزی‌شده (Scheduled Machine Hour) است (Spinelli & Magagnotti, 2012). مدل رگرسیونی زمان حرکت تراکتور به فاصله چوبکشی و قدرت موتور بستگی دارد و زمان حرکت با بار به فاصله چوبکشی وابسته است. مدل رگرسیونی به‌دست‌آمده برای برآورد تولید تراکتور نشان داد که مهمترین عامل‌های تأثیرگذار بر تولید عملیات چوبکشی، تعداد گرده‌بینه و فاصله چوبکشی هستند.

در بررسی قابلیت کاربرد کمان چوبکشی به‌همراه تراکتورهای کشاورزی مشخص شد که تراکتورهای کشاورزی مجهزشده به کمان چوبکشی می‌توانند ضمن حمل و چوبکشی بارهای سنگین، سرعت حرکت قابل‌توجه داشته باشند و صدمه به خاک را کاهش دهند (Spinelli & Baldini, 1992). تولید و هزینه عملیات بهره‌برداری با تبدیل‌کننده یا پروسسور نصب‌شده (Processor mounted on farm tractor) بر روی تراکتور کشاورزی محاسبه و نتیجه‌گیری شد که متوسط حجم درخت قطع‌شده بر هزینه عملیات تأثیر معنی‌داری دارد (Sowa *et al*., 2007). درمورد استفاده از تراکتورهای کشاورزی در عملیات بهره‌برداری و خروج چوب نتیجه‌گیری شد که استفاده از آنها در جنگلداری کوچک‌مقیاس دارای مزایای متعددی ازجمله هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و اجرای به‌نسبت کم، همه‌کاره‌بودن و صدمه کمتر به توده باقیمانده و خاک جنگل هستند (Akay, 2005). در یک مطالعه، مدل پیش‌بینی زمان چوبکشی پنج تراکتور کوچک کشاورزی را تحت تیمارهای مختلف جنگلشناسی و شرایط متفاوت عملیات توسعه دادند. متغیرهای موردبررسی شامل فاصله انتقال، حجم بار، تعداد گرده‌بینه در هر بار و حجم هر گرده‌بینه بودند. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله انتقال، هزینه به‌ازای حجم تولیدشده، افزایش می‌یابد (LeDoux & Huyler, 1992). مطالعه زمانی عملیات چوبکشی با تراکتور کشاورزی در جنگل‌های ترکیه انجام و نتیجه‌گیری شد که شیب منطقه، حجم بار، تعداد گرده‌بینه‌ها و ساختار زمین فاکتورهای مؤثر بر عملیات خروج چوب با تراکتور کشاورزی هستند. همچنین در این تحقیق، متوسط شیب مسیرهای چوبکشی ۲۲ درصد و حداقل و حداکثر شیب به‌ترتیب ۱۳ و ۳۱ درصد است (Turk & Gumus, 2010).

Turner و همکاران (۱۹۸۸) هزینه عملیات چوبکشی با تراکتور کشاورزی را بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که میزان تولید ۳/۷۷ مترمکعب به‌ازای ساعت کار برنامه‌ریزی‌شده است و با متوسط فاصله چوبکشی ۲۶۷/۷ متر، هزینه چوبکشی ۱/۴۹ دلار به‌ازای هر مترمکعب است. در بررسی دیگری مشخص شد که تلفیق جمع‌آوری و دسته‌بندی چوب‌آلات با اسب و خروج با تراکتور چوبکشی، ارزان‌تر از چوبکشی مسقیم با تراکتور است و اجازه افزایش محدوده فاصله چوبکشی با اسب را امکان‌پذیر می‌کند (Magagnotti & Spinelli, 2011). ضمن بررسی و ارزیابی سازندگان و خریداران ماشین‌آلات و تجهیزات بهره‌برداری کوچک‌مقیاس

ازجمله تراکتورهای کشاورزی، مزایا و معایب آنها مطالعه شدند. مزایا شامل سرمایه‌گذاری اولیه کم و هزینه اجرایی کم، صدمه کمتر به توده باقیمانده و خاک جنگل و معایب شامل تولید و کارایی کمتر و مشکلات ارگونومی زیاد و ایمنی کم بود (Updegraff & Blinn, 2000). کارایی و هزینه تراکتور کشاورزی در عملیات خروج چوب بررسی و نتیجه‌گیری شد که زمان چوبکشی یک سیکل به عامل‌های فاصله چوبکشی و شیب مسیر حمل بستگی دارد. متوسط تولید در ارتباط با زمان خالص و زمان کل کار به‌ترتیب ۲/۴۳ و ۲/۶ مترمکعب در ساعت است (Gilanpoor *et al.*, 2012). در جنگل‌های شمال ایران سیستم کوچک‌مقیاس خروج چوب دیگری نیز وجود دارد که همان سیستم سنتی حمل چوب با اسب و قاطر است. با بررسی سیستم سنتی حمل چوب در جنگل‌های شمال نتیجه‌گیری شد که مقدار تولید ساعتی در حمل چوب‌آلات کاتینی و هیزمی به‌ترتیب ۱/۲۴۶ و ۲/۱۳۵ مترمکعب در ساعت است (Ghaffariyan, 2003). در تحقیق دیگری تولید ساعتی با احتساب زمان‌های تأخیر، برای حمل الوار در شیب‌های مثبت (حمل به بالا) و منفی (حمل به پائین) به‌ترتیب ۱/۰۰ و ۱/۲ مترمکعب در ساعت و برای حمل در شیب‌های مثبت و منفی بدون درنظرگرفتن زمان تأخیر به‌ترتیب ۱/۲۱ و ۱/۵ مترمکعب در ساعت محاسبه شد (Jourgholami *et al.*, 2008).

این تحقیق با بررسی کارایی نرخ تولید و هزینه عملیات خروج چوب با تراکتورهای کشاورزی درنظر دارد تا به ارائه سیستمی مناسب برای جایگزینی عملیات سنتی خروج چوب با سیستم سنتی چوب بپردازد. هدف از این تحقیق به‌طور کلی بررسی قابلیت‌ها و محدودیت‌های خروج چوب‌آلات به‌وسیله تراکتورهای کشاورزی است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه موردمطالعه

این تحقیق در پارسل‌های ۳۱۱ و ۳۱۹ سری گرازبن که با وسعت ۱۰۰۱/۵ هکتار سومین سری جنگل آموزشی و پژوهشی دانشکده منابع طبیعی (خیرود نوشهر) است، انجام شد. اولین دوره طرح جنگل‌داری این سری پس از تصویب در سال ۹۰-۸۹ آغاز و اجرا شده است. مساحت این دو پارسل برابر با ۷۰/۵ هکتار و ارتفاع از سطح دریا در پارسل ۳۱۱، ۱۰۵۰ تا ۱۱۹۰ متر و در پارسل ۳۱۹، ۱۱۹۰ تا ۱۲۷۰ متر است. شیب کلی پارسل ۳۱۱ و ۳۱۹، به‌ترتیب ۱۸ و ۲۰ درصد است. متوسط میزان بارندگی ۱۱۵۰ میلی‌متر است. شیوه جنگل‌شناسی در هر دو پارسل موردبررسی به‌صورت تک‌گزینی و فرم جنگل دانه‌زاد ناهمسال نامنظم است. جامعه گیاهی در پارسل ۳۱۱، بلوط- ممرزستان و در پارسل ۳۱۹، راش- ممرزستان است (Anonymous, 2010). عملیات جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز در مهرماه ۱۳۹۱ انجام شد. تراکتور کشاورزی مورداستفاده در این تحقیق به تریلی دوچرخ با اندازه کوچک مجهز است که بار را بدون تماس با زمین به دپو منتقل می‌کند. هرچند عملیات پیش‌حمل با تراکتور نسبت به عملیات چوبکشی دارای مزایایی ازجمله قابلیت حمل بار بیشتر و بهم‌خوردگی کمتر است، اما استفاده از تریلی دوچرخ در محور عقب آن ضمن کاهش قابلیت مانور به‌ویژه در اراضی پرشیب و حمل در جهت رو به بالا، سبب افزایش فشار وارده به خاک شده که منجر به ایجاد رد چرخ و افزایش خسارت‌آور بهم‌خوردگی و وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شود. بنابراین طراحی مسیرهای چوبکشی و همچنین محدودکردن تراکتور به تردد در این مسیرها، راهکار اساسی در کاهش بهم‌خوردگی و کوبیدگی خاک است (Sobhani, 2006). در این تحقیق، تردد تراکتور در مسیرهای چوبکشی طراحی‌شده قبل از عملیات بهره‌برداری و چوبکشی انجام شده است.

روش پژوهش

در این بررسی به‌کمک یک دستگاه زمان‌سنج (کرونومتر)، زمان‌سنجی به‌روش زمان‌های پیوسته انجام شد. اجزاء کار یک نوبت چوبکشی با تراکتور کشاورزی برای حمل هیزم و کاتین به‌منظور حمل گرده‌بینه از محل قطع تا دپوی کنار جاده عبارت است از زمان رفت خالی یا زمان

حرکت بدون بار، زمان بارگیری، زمان بازگشت با بار یا زمان حرکت با بار و زمان تخلیه بار. زمان سوخت‌گیری و زمان صرف غذا و استراحت کارگران نیز براساس دستورالعمل بین‌المللی زمان‌سنجی به‌صورت جداگانه اندازه‌گیری شد (Bjorheden & Thompson, 1995). در این دستورالعمل زمان سوخت‌گیری و زمان صرف غذا و استراحت کارگران جزء زمان تأخیر نبوده و جزئی از زمان کل کار است و به‌عنوان زمان کار خالص درنظر گرفته نمی‌شود. علاوه‌بر زمان‌های مذکور، یکسری زمان‌های تأخیر یا توقف نیز در طول هر نوبت کار مشاهده شده که این زمان تأخیر نیز به سه دسته تأخیرهای اجرایی، شخصی و فنی تقسیم می‌شود (Bjorheden & Thompson, 1995; Spinelli & Visser, 2008). همچنین رابطه زمان کل کار و زمان خالص براساس دستورالعمل ذکرشده در بالا برای حمل هر نوع چوب برابر است با: کل زمان کار= زمان خالص کار + زمان صرف غذا و استراحت + زمان سوخت‌گیری + کل زمان تأخیر. عامل‌های مؤثر بر زمان خروج چوب شامل فاصله چوبکشی، شیب مسیر، حجم بار و تعداد گرده‌بینه در هر بار بودند. اندازه‌گیری‌ها در کار میدانی شامل اندازه‌گیری طول مسیرهای چوبکشی، اندازه‌گیری شیب طولی مسیرها، اندازه‌گیری زمان کار (مطالعات زمانی) بود. در هنگام اندازه‌گیری زمان اجزاء تشکیل‌دهنده هر نوبت چوبکشی طول و قطر میانی کاتین‌ها و تعداد گرده‌بینه در هر نوبت چوبکشی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری شیب مسیرها ضمن برداشت طول مسیر، با استفاده از شیب‌سنج سونتو، شیب‌های مربوطه نیز تا دقت یک درصد اندازه‌گیری و یادداشت شد. برای اندازه‌گیری طول مسیر چوبکشی، به‌کمک متر نواری ۳۰ متری، فواصل روی سطح شیب‌دار تا دقت متر اندازه‌گیری شد. وضعیت آب‌وهوا در روزهای چوبکشی آفتابی و ابری بود. برای تعیین حجم کاتین از فرمول هوبر استفاده شد (رابطه ۱).

$$v = g_m \times L$$ رابطه ۱

که در آن: V= حجم کاتین (مترمکعب)، g_m= سطح‌مقطع میانی کاتین (مترمربع) و L= طول کاتین (متر) است.

برای تعیین حجم چوب‌آلات هیزمی از روش استربندی استفاده شد. با آماربرداری مقدماتی و تعیین واریانس زمان خروج چوب بدون احتساب زمان تأخیر و با احتساب اینکه در سطح ۹۵ درصد اطمینان، دقت موردنظر ۱۰ درصد میانگین زمان خروج چوب باشد، با استفاده از رابطه ۲ تعداد نمونه موردنیاز محاسبه شد.

$$n = \frac{t^2 \times (s_x\%)^2}{(E\%)^2}$$ رابطه ۲

که در آن: n= تعداد نمونه؛ t= ضریبی که به تعداد نمونه و سطح اعتماد موردنظر بستگی دارد و از جدول t بدست می‌آید؛ S_x= انحراف از معیار به‌دست‌آمده از آماربرداری مقدماتی و E= دقت موردنظر است.

به‌منظور نمونه‌برداری اولیه، به‌طور جداگانه ۲۰ چرخه کاری برای حمل چوب‌آلات هیزمی و کاتینی اندازه‌گیری شد. تعداد نمونه برای تعیین مدل حمل چوب‌آلات هیزمی و کاتینی به‌ترتیب ۵۰ و ۵۰ به‌دست آمد و با درنظرگرفتن سه نمونه برای اعتبارسنجی مدل، تعداد به‌ترتیب ۵۳ و ۵۳ نمونه برای تعیین مدل اندازه‌گیری شد. همچنین عملیات حمل هر نوع چوب به‌صورت مجزا از هم انجام شد. در هنگام جمع‌آوری داده‌های این تحقیق، سیکل‌های اندازه‌گیری‌شده به‌صورت تصادفی در طول پیشرفت کار در داخل توده و در شرایط مختلف اندازه‌گیری شدند. بر این پایه با استفاده از نرم‌افزار SPSS، مدل ریاضی پیش‌بینی زمان خروج چوب با تراکتور تهیه شد. بعد از واردکردن داده‌های جمع‌آوری‌شده به‌دست‌آمده از زمان‌سنجی، با استفاده از روش آندرسون–دارلینگ (Anderson- Darling) از نرمال‌بودن توزیع داده‌ها اطمینان حاصل شد. برای تعیین ضرایب متغیر و ثابت مدل پیش‌بینی زمان چوبکشی از روش متداول رگرسیون چندمتغیره و از تکنیک رگرسیون مرحله‌ای استفاده شد. به‌منظور محاسبه هزینه سیستم از دستورالعمل پیشنهادی تهیه طرح بهره‌برداری سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کشور (Sobhani & Raafatnia, 1997) استفاده شد. با استفاده از این دستورالعمل، هزینه سیستم محاسبه شده است. عملیات خروج چوب‌آلات کاتینی هیزمی با تراکتور انیورسال ۶۵۰ ساخت رومانی تجهیزشده با تریلر دوچرخ و

کمپرس انجام شده است.

نتایج

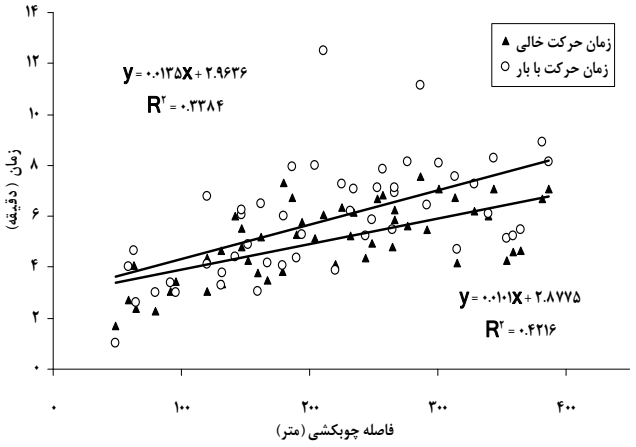
جدول ۱ پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در مطالعه زمانی و متغیرهای مؤثر بر زمان چوبکشی با تراکتور در حمل چوب‌آلات هیزمی و کاتینی را نشان می‌دهد. شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند که با افزایش فاصله چوبکشی زمان خالص چوبکشی با تراکتور در حمل هیزم و کاتین به‌صورت خطی افزایش می‌یابد.

جدول ۱- پارامترهای آماری عملیات خروج چوب‌آلات هیزمی و کاتینی با تراکتور کشاورزی*

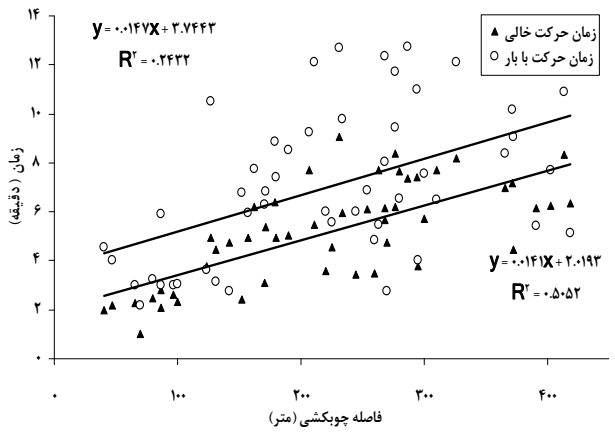
پارامتر	زمان تأخیر فنی (دقیقه)		زمان تأخیر شخصی (دقیقه)		زمان صرف غذا و استراحت (دقیقه)		زمان سوخت‌گیری (دقیقه)		زمان تخلیه (دقیقه)		زمان حرکت با بار (دقیقه)		زمان بارگیری (دقیقه)		زمان حرکت خالی (دقیقه)	
نوع چوب	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین
میانگین	۰/۴۸	۲/۹۳	۰/۶۷	۱/۶۷	۴/۴۷	۲/۴	۰/۶	۰/۲۴	۲/۳۵	۲/۵۴	۵/۸۷	۷/۰۲	۲۴/۲۳	۱۸/۴	۵/۰۶	۵/۱۶
حداقل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۸۸	۰/۹۸	۱/۰۳	۲/۱۶	۸/۸۱	۱۰/۸۱	۱/۷	۱/۰۲
حداکثر	۸/۶۷	۸۵/۷	۱۲/۲۸	۴۶/۲۵	۴۶/۲۸	۳۲/۶۸	۵/۳۶	۴/۲۸	۴/۳۱	۴/۸۸	۱۲/۵۱	۱۲/۷۵	۳۹/۱	۳۰/۲	۷/۵۸	۹/۰۶
انحراف‌معیار	۱/۹۴	۱۳/۵۶	۲/۴۴	۷/۴۸	۱۲/۵۲	۸/۲۴	۱/۵۳	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۸۷	۲/۱۷	۳/۰۷	۶/۳۵	۴/۳۹	۱/۴۶	۲/۰۴

پارامتر	شیب (درصد)		فاصله (متر)		حجم (مترمکعب)		تعداد		کل زمان کار (دقیقه)		زمان خالص کار (دقیقه)		کل زمان تأخیر (دقیقه)		زمان تأخیر اجرایی (دقیقه)	
نوع چوب	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین	هیزم	کاتین
میانگین	۱۱/۳	۱۱/۹۶	۲۱۵/۷۷	۲۲۲/۰۲	۱/۹۷	۲/۶۲	۷۸/۴۶	۳۸/۳۴	۴۴/۳	۴۰/۹۹	۳۷/۵۲	۳۳/۱۱	۱/۷۱	۵/۲۳	۰/۵۵	۰/۶۳
حداقل	۷	۷	۴۹	۴۰	۱/۱۵	۰/۸۸	۶۱	۲۰	۱۸/۳۸	۲۰/۷۳	۱۸/۳۸	۱۸/۸۳	۰	۰	۰	۰
حداکثر	۱۸	۱۸	۳۸۷	۴۱۹	۲/۷۷	۴/۰۷	۹۸	۵۴	۹۶/۰۳	۱۲۸/۶۴	۵۳/۰۹	۵۲/۵۸	۲۰/۴۷	۸۵/۷	۱۵/۴۱	۱۵/۳۳
انحراف‌معیار	۳/۰۷	۳/۱۴	۹۳/۶۴	۱۰۲/۷۹	۰/۴۱	۰/۷۹	۹/۶۹	۸/۶۶	۱۶/۲۵	۱۸/۹۹	۷/۷۵	۷/۹۴	۴/۴۱	۱۵/۲۴	۲/۷۴	۲/۶۹

*کل زمان کار = زمان خالص کار + زمان صرف غذا و استراحت + زمان سوخت‌گیری + کل زمان تأخیر



شکل ۱- نمودار تغییرات زمان حرکت خالی و با بار با فاصله حمل در خروج چوب‌آلات هیزمی با تراکتور کشاورزی



شکل ۲- نمودار تغییرات زمان حرکت خالی و با بار با فاصله حمل در خروج چوب‌آلات کاتینی با تراکتور کشاورزی

آزمون تی مستقل به ارزیابی این موضوع می‌پردازد که آیا اختلاف بین میانگین دو گروه معنی‌دار است یا خیر؟ انجام این آزمون بین میانگین زمان خالص کار در دو گروه چوب‌آلات کاتینی و هیزمی نشان داد که با توجه به سطح

معنی‌داری برای آزمون لون (levene)، بین میانگین زمان خالص خروج چوب هیزم و کاتین ازنظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقدار زمان کار برای خروج چوب‌های هیزمی بیشتر از چوب‌آلات کاتینی است.

مدل پیش‌بینی زمان چوبکشی چوب‌آلات هیزمی با تراکتور

مدل ریاضی پیش‌بینی زمان چوبکشی با تراکتور (رابطه ۳) عبارتست از معادله رگرسیون چندمتغیره زمان چوبکشی با تراکتور کشاورزی در یک بار، به‌صورت تابعی از فاصله چوبکشی و تعداد بار در هر سیکل:

رابطه ۳ $Y = ۱۲/۵۹۴۸۸ + ۰/۰۶۸۹۹ X_1 + ۰/۱۲۷۹۶ X_2$

که در آن: Y= زمان خالص چوبکشی (دقیقه)؛ X_1= فاصله چوبکشی (متر)؛ X_2= تعداد بار در هر سیکل است. جدول ۲ خلاصه جدول تجزیه‌واریانس مدل رابطه ۳ را نشان می‌دهد. در جدول ۲ مقدار F به‌دست‌آمده بیانگر این است که در سطح ۹۹ درصد اطمینان، معنی‌دار می‌باشد و متغیرهای واردشده در مدل تا ۷۶ درصد تغییرات را نشان می‌دهند.

جدول ۲- تجزیه‌واریانس مدل ریاضی زمان خالص پیش‌بینی زمان چوبکشی چوب‌آلات هیزمی با تراکتور

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	$F= \frac{MSK}{MSe}$	(%) R_2	r	P
رگرسیون	۲۲۳۸/۳۸	۲	۱۱۱۹/۱۸	۷۴/۸۸	۷۶/۱	۰/۸۷	۰/۰۰۰
خطا	۷۰۲/۴۲	۴۷	۱۴/۹۴				
مجموع	۲۹۴۰/۸	۴۹					

مدل پیش‌بینی زمان چوبکشی چوب‌آلات کاتینی با تراکتور

مدل ریاضی پیش‌بینی زمان چوبکشی با تراکتور (رابطه ۴) عبارتست از معادله رگرسیون چندمتغیره زمان چوبکشی با تراکتور کشاورزی در یک بار، به‌صورت تابعی از فاصله چوبکشی:

رابطه ۴ $Y = ۲۰/۳۳۷۵۹ + ۰/۰۵۷۵۴ X_1$

که در آن:

Y= زمان خالص چوبکشی (دقیقه) و X_1= فاصله چوبکشی (متر) است. جدول ۳ خلاصه جدول تجزیه‌واریانس مدل رابطه ۴ را نشان می‌دهد. در جدول ۳ مقدار F به‌دست‌آمده بیانگر این است که در سطح ۹۹ درصد اطمینان، معنی‌دار می‌باشد و متغیرهای واردشده در مدل تا ۵۵/۵ درصد تغییرات را نشان می‌دهند.

جدول ۳- تجزیه‌واریانس مدل ریاضی زمان خالص پیش‌بینی زمان چوبکشی چوب‌آلات کاتینی با تراکتور

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	$F= \frac{MSK}{MSe}$	(%) R2	r	P
رگرسیون	۱۷۱۴/۱۱	۱	۱۷۱۴/۱۱	۵۹/۸۶	۵۵/۵	۰/۷۴	۰/۰۰۰
خطا	۱۳۷۴/۵۲	۴۸	۲۸/۶۴				
مجموع	۳۰۸۸/۶۳	۴۹					

احراز اعتبار مدل

به‌منظور احراز اعتبار مدل ریاضی پیش‌بینی زمان خالص حمل هیزم و کاتین، قبل از اتمام تجزیه‌وتحلیل‌ها، سه نوبت از اطلاعات حاصل از زمان‌سنجی را از داده‌های

جمع‌آوری‌شده مربوط به‌طور کاملاً تصادفی جدا شد و در تهیه مدل‌ها دخالت داده نشد. پس از برازش مدل رگرسیونی، از آنها برای تعیین اعتبار مدل استفاده شد. به‌علت اینکه تجزیه‌وتحلیل توسط نرم‌افزار SPSS انجام گرفت، این نرم‌افزار این قابلیت را دارد که حدود اعتماد مدل را در سطح پنج درصد یا یک درصد خطا، مستقیماً در اختیار کاربر قرار دهد و نتیجه‌گیری شد که مدل‌های رابطه ۳ و ۴ از اعتبار آماری لازم برخوردارند. جدول‌های ۴، ۵ و ۶ اطلاعات مربوط به اندازه‌های مشاهده‌شده، برآوردشده توسط روابط و دو حد پایین و بالای دامنه پیش‌بینی برای یک نمونه در سطح اطمینان ۹۵ درصد را برای دو مدل رگرسیونی عنوان‌شده و سه نمونه نمایش می‌دهد.

جدول ۴- مشخصات نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده (مشاهده) در عرصه

نمونه	فاصله حمل (متر)	تعداد بار	زمان خالص حمل هیزم (دقیقه)	نمونه	فاصله حمل (متر)	تعداد بار	زمان خالص حمل کاتین (دقیقه)
۱	۹۵	۵۸	۲۳/۴۵	۱	۴۸	۲۸	۱۷/۸۵
۲	۲۱۴	۸۹	۳۲/۶۱	۲	۲۳۵	۳۲	۴۲/۰۶
۳	۳۵۸	۸۷	۴۸/۳۲	۳	۳۳۶	۵۱	۴۶/۱۸

جدول ۵- دو حد بالا و پایین به‌دست‌آمده در مدل‌های به‌دست‌آمده از زمان خالص حمل هیزم و کاتین

مدل / متغیر	مدل زمان خالص حمل هیزم		مدل زمان خالص حمل کاتین	
	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین
ضریب ثابت	۲۱/۷۴	۳/۴۵	۲۳/۹۸	۱۶/۶۸
فاصله حمل	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۴
تعداد بار	۰/۲۴	۰/۰۱	–	–

جدول ۶- نمونه اندازه‌گیری‌شده (مشاهده)، برآورد مشخصه به‌کمک دو مدل رگرسیونی و دو حد پایین و بالای پیش‌بینی در سطح اطمینان ۹۵٪

نمونه	زمان (دقیقه)					زمان (دقیقه)				
مشخصه	نمونه	مشاهده	برآورد	حد پایین	حد بالا	نمونه	مشاهده	برآورد	حد پایین	حد بالا
رابطه ۳	۱	۲۳/۴۵	۲۶/۵۷	۹/۵۵	۴۳/۵۸	۲	۳۲/۶۱	۳۸/۸۴	۱۶/۷۱	۴۳/۵۸
رابطه ۳	۳	۴۸/۳۲	۴۸/۴۳	۲۴/۸۹	۷۱/۹۶					
رابطه ۴	۱	۱۷/۸۵	۲۳/۱	۱۸/۷۲	۲۷/۴۶	۲	۴۲/۰۶	۳۳/۸۶	۲۶/۶۹	۴۱/۰۳
رابطه ۴	۳	۴۶/۱۸	۳۹/۶۷	۳۰/۹۸	۴۸/۳۵					

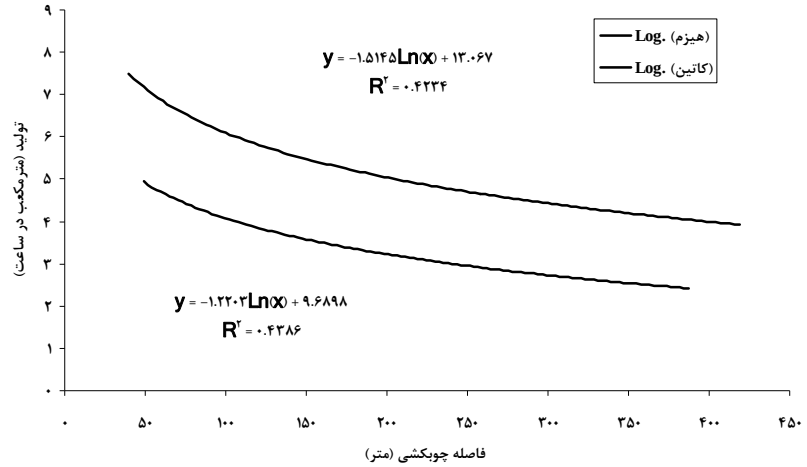
میزان تولید سیستم چوبکشی با تراکتور در حمل چوب‌آلات هیزمی

در این تحقیق میزان تولید ساعتی سیستم چوبکشی با تراکتور با درنظرگرفتن زمان‌های تأخیر و بدون آن، به‌ترتیب برابر ۲/۶۶ و ۳/۱۴ مترمکعب در ساعت است. میزان تولید ساعتی با احتساب زمان‌های تأخیر حدود ۱۸ درصد کمتر از تولید خالص سیستم چوبکشی با تراکتور است. بررسی میزان تولید (مترمکعب در ساعت) سیستم چوبکشی با تراکتور نشان داد که با فاصله چوبکشی، میزان تولید بدون تأخیر در حمل چوب‌آلات هیزمی به‌صورت رابطه لگاریتمی کاهش می‌یابد.

میزان تولید سیستم چوبکشی با تراکتور در حمل چوب‌آلات کاتینی

در این تحقیق میزان تولید ساعتی سیستم چوبکشی با تراکتور با درنظرگرفتن زمان‌های تأخیر و بدون آن، به‌ترتیب برابر ۳/۸۳ و ۴/۷۴ مترمکعب در ساعت است. میزان تولید ساعتی با احتساب زمان‌های تأخیر حدود ۲۴ درصد کمتر از تولید خالص سیستم چوبکشی با تراکتور است. بررسی میزان تولید (مترمکعب در ساعت) سیستم چوبکشی با تراکتور نشان می‌دهد که با فاصله چوبکشی، میزان تولید بدون تأخیر در حمل چوب‌آلات کاتینی به‌صورت رابطه لگاریتمی کاهش می‌یابد. مقایسه تولید خالص در حمل چوب‌آلات کاتینی و هیزمی نشان می‌دهد که مقدار تولید در حمل چوب‌آلات کاتینی ۵۱ درصد بیشتر از مقدار تولید چوب‌آلات هیزمی است. آزمون تی مستقل بین میانگین تولید خالص در دو گروه چوب‌آلات کاتینی و هیزمی نشان داد که با توجه به مقدار سطح معنی‌داری برای آزمون لون، بین میانگین تولید خالص خروج چوب هیزم (۰/۹۷±۳/۲۷ مترمکعب در ساعت) و کاتین (۱/۳۴±۵/۰۹ مترمکعب در ساعت) ازنظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقدار تولید خالص برای خروج چوب‌های هیزمی کمتر از چوب‌های کاتینی است.

مقدار تولید در حمل کاتین به‌مراتب بیشتر از حمل هیزم است که دلیل عمده آن مربوط به کاهش زمان فراهم‌آوردن حجم بار در حمل کاتین به‌دلیل ابعاد مناسب گرده‌بینه است، اما در حمل هیزم، برای فراهم‌کردن حجم بار مناسب در یک نوبت چوبکشی، باید ده‌ها چوب هیزمی بهم بسته شود که این باعث افزایش زمان چوبکشی می‌شود. برای کاهش زمان بارگیری چوب‌آلات هیزمی می‌توان شخصی را مسئول جمع‌آوری و فراهم‌کردن چوب‌آلات نمود تا ضمن کاهش زمان بارگیری، هزینه‌های عملیات حمل را کاهش داد. همان‌طور که از مدل ریاضی حل هیزم مشاهده می‌شود، تعداد چوب‌آلات نیز بعد از فاصله وارد مدل رگرسیونی (به‌عنوان یک عامل مهم و اثرگذار بعد از فاصله چوبکشی) شده که بر زمان یک نوبت چوبکشی اثر مستقیم دارد. مقایسه تغییرات تولید در حمل دو نوع چوب‌آلات هیزمی و کاتینی نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از مقدار تولید خالص کاسته می‌شود که این روند کاهش به‌صورت تابع لگاریتمی کاهنده است (شکل ۳). همچنین مقایسه روند تغییرات تولید نشان می‌دهد که در هر فاصله چوبکشی، میزان تولید در حمل کاتین بیشتر از حمل هیزم است. همچنین مقدار تولید در حمل کاتین با افزایش فاصله دارای روند کاهشی کمتری نسبت به حمل هیزم است.



شکل ۳- نمودار تغییرات تولید با فاصله چوبکشی در خروج چوب‌آلات هیزمی و کاتینی با تراکتور کشاورزی

هزینه سیستم چوبکشی با تراکتور کشاورزی

با استفاده از دستورالعمل ذکرشده در روش تحقیق، هزینه سیستم چوبکشی که از مجموع هزینه‌های ماشین و هزینه کارگری تشکیل می‌شود، محاسبه شد. مبنای محاسبه قیمت‌ها براساس قیمت ماشین و سایر لوازم و وسایل در سال ۱۳۹۱ است. با توجه به آب‌وهوای منطقه و همچنین اشتغال کارگران جنگل به امور دیگر، تعداد روزهای کار ۱۸۰ روز محاسبه شد. عمر مفید ماشین ۲۰ سال، قیمت خرید ۱۴۰ میلیون ریال و ضریب بهره‌وری ۷۱/۴ درصد درنظر گرفته شد. جدول ۷ خلاصه هزینه‌یابی سیستم چوبکشی با تراکتور کشاورزی را نشان می‌دهد. گروه کاری متشکل از چهار نفر شامل راننده و سه کارگر همراه برای بارگیری به‌شیوه دستی است.

جدول ۷- هزینه‌یابی سیستم چوبکشی با تراکتور کشاورزی

پارامتر هزینه	هزینه‌های ثابت (ریال)				هزینه‌های متغیر (ریال)				نرخ ماشین (ریال)	هزینه کارگری (ریال)	کل هزینه سیستم (ریال)
	استهلاک	سود سرمایه	بیمه و مالیات	هزینه در ساعت کار مفید	تعمیر و نگهداری	سوخت و روغن	لاستیک	هزینه در ساعت کار مفید			
هزینه	۴۲۰۰۰۰۰۰	۱۸۱۳۰۰۰۰	۶۰۱۳۰۰۰	۷۳۴۹۲	۵۲۵۰۰	۱۱۷۵۰۰	۵۱۴۳	۱۷۵۱۴۳	۲۴۸۶۳۵	۲۶۰۰۰۰	۵۰۸۶۳۵

هزینه عملیات چوبکشی با تراکتور در حمل هیزم و کاتین

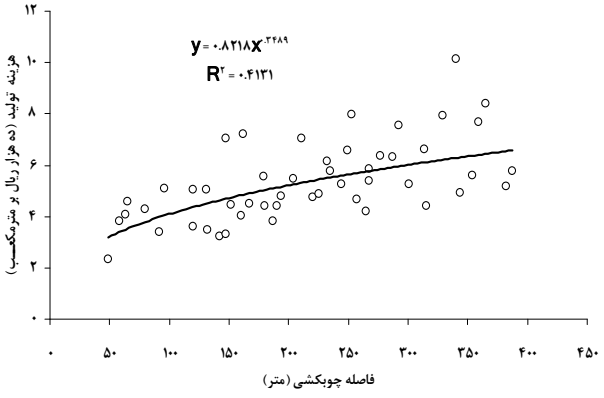
هزینه واحد تولید با احتساب زمان‌های تأخیر و بدون احتساب آن، برای عملیات حمل چوب‌آلات هیزمی به‌ترتیب برابر ۱۹۰۹۶۰ و ۱۶۱۷۶۰ ریال بر مترمکعب به‌دست آمد. تغییرات متغیر قطر درخت بر هزینه عملیات حمل هیزم با تراکتور محاسبه شد و نتایج نشان داد که با افزایش فاصله چوبکشی، هزینه عملیات چوبکشی با تراکتور افزایش می‌یابد که این افزایش به‌ترتیب به‌صورت رابطه توانی است (شکل ۴).

هزینه واحد تولید با احتساب زمان‌های تأخیر و بدون احتساب آن، برای عملیات حمل چوب‌آلات کاتینی به‌ترتیب برابر ۱۳۲۷۳۰ و ۱۰۷۲۲۰ ریال بر مترمکعب به‌دست آمد.

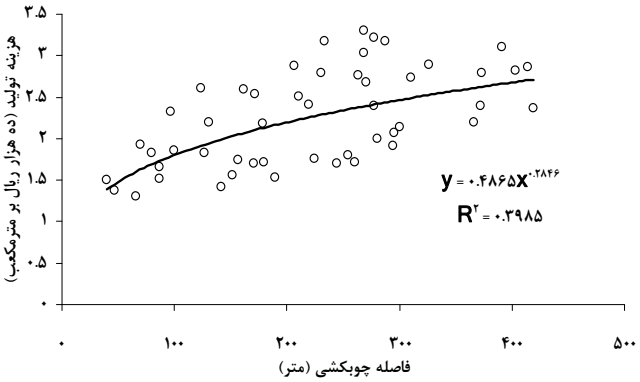
تغییرات متغیر قطر درخت بر هزینه عملیات حمل کاتین با تراکتور محاسبه شد و نتایج نشان داد که با افزایش فاصله چوبکشی، هزینه عملیات چوبکشی با تراکتور افزایش می‌یابد که این افزایش به‌ترتیب به‌صورت رابطه توانی است (شکل ۵).

تجزیه‌وتحلیل اجزای عملیات چوبکشی در حمل هیزم با تراکتور

به‌طور میانگین هر سیکل کار عملیات حمل هیزم با تراکتور ۴۴/۳ دقیقه زمان صرف می‌کند که ۳۷/۵۲ دقیقه (۸۴/۷ درصد) آن را زمان خالص تشکیل می‌دهد. به‌طور میانگین در هر سیکل کار، جزء حرکت خالی تراکتور از دپو به جنگل ۵/۰۶ دقیقه زمان صرف می‌کند که ۱۱/۴ درصد کل زمان کار را تشکیل می‌دهد. درحالی‌که زمان بارگیری هیزم در هر سیکل به‌طور متوسط ۲۴/۲۳ دقیقه زمان صرف می‌کند که ۵۴/۷ درصد زمان کار را تشکیل می‌دهد. زمان حرکت با بار، زمان صرف غذا و استراحت و زمان تخلیه به‌ترتیب با ۱۳/۳، ۱۰/۱ و ۵/۳ درصد بیشترین زمان یک نوبت چوبکشی را تشکیل می‌دهد. میانگین زمان‌های تأخیر در هر نوبت کار ۱/۷۱ دقیقه (۳/۹ درصد) است. سرعت حرکت خالی از دپو به جنگل و با بار تراکتور در حمل چوب‌آلات هیزمی به‌ترتیب برابر ۲/۵۶ و ۲/۲ کیلومتر در ساعت است.



شکل ۴- اثر تغییرات فاصله چوبکشی بر هزینه تولید در حمل چوب‌آلات هیزمی



شکل ۵- اثر تغییرات فاصله چوبکشی بر هزینه تولید در حمل چوب‌آلات کاتینی

تجزیه‌وتحلیل اجزای عملیات چوبکشی در حمل کاتین با تراکتور

به‌طور میانگین هر سیکل کار عملیات حمل کاتین با تراکتور ۴۰/۹۹ دقیقه زمان صرف می‌کند که ۳۳/۱۱ دقیقه (۸۰/۸ درصد) آن را زمان خالص تشکیل می‌دهد. به‌طور میانگین در هر سیکل کار، جزء حرکت خالی تراکتور از دپو به جنگل ۵/۱۶ دقیقه زمان صرف می‌کند که ۱۱/۶ درصد کل زمان کار را تشکیل می‌دهد. درحالی‌که زمان بارگیری کاتین در هر سیکل به‌طور متوسط ۱۸/۴ دقیقه زمان صرف می‌کند که ۴۱/۵ درصد زمان کار را تشکیل می‌دهد. زمان حرکت با بار، زمان صرف غذا و استراحت و زمان تخلیه به‌ترتیب با ۱۵/۸، ۵/۴ و ۵/۷ درصد بیشترین زمان یک نوبت چوبکشی را تشکیل می‌دهد. میانگین زمان‌های تأخیر در هر نوبت کار ۵/۲۳ دقیقه (۱۲/۸ درصد) است. سرعت حرکت خالی از دپو به جنگل و با بار تراکتور در حمل چوب‌آلات کاتینی به‌ترتیب برابر ۲/۵۸ و ۱/۸۹ کیلومتر در ساعت است.

بحث

راه‌های متفاوتی برای انجام عملیات خروج چوب با

تراکتور کشاورزی وجود دارد. در این تحقیق تریلی در داخل توده جنگل بارگیری شده و بعد از حمل به دپو به کامیون منتقل شده و به مراکز مصرف انتقال داده می‌شود (Kent *et al.*, 2011). در این تحقیق نیز تراکتور کشاورزی مجهز به تریلی شده است که دارای دو چرخ بوده و عملیات بارگیری چوب‌آلات به‌صورت دستی بر روی تریلی انجام می‌شود و بعد از اتمام بارگیری، بار بدون تماس با سطح زمین به‌صورت عملیات پیش‌حمل به دپو منتقل می‌شود. با توجه به اینکه عملیات بارگیری چوب‌آلات به‌صورت دستی انجام می‌شود، بنابراین این روش خروج چوب به نیروی کار زیادی نیاز دارد و معمولاً دو تا سه نفر برای عملیات بارگیری نیاز است. در این حالت افراد اکیپ در سطح جنگل هستند و جمع‌آوری و بارگیری دستی و فیزیکی چوب‌آلات، عملیاتی به‌شدت وقت‌گیر بوده و تجربه زیادی موردنیاز است که به‌طور قابل‌توجه بر میزان کارایی و تولید این سیستم تأثیرگذار است. هرچند از نظر اقتصادی این روش وابسته به نیروی افراد بوده و بیشتر کار به‌صورت دستی انجام می‌شد، اما ازآنجا که بار در طول حرکت از محل بارگیری تا دپو با زمین تماس ندارد، بنابراین صدمه به توده جنگل و بهم‌خوردگی خاک به‌میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (Updegraff & Blinn, 2000). هزینه ساعتی محاسبه‌شده نشان می‌دهد که ۵۱ درصد آن را هزینه‌های کارگری (اکیپ راننده و بارگیری) تشکیل می‌دهد. به‌عبارت دیگر هنوز هم بخش عمده‌ای از کار با تراکتور کشاورزی وابسته به نیروی انسان است.

با توجه به اینکه تمام عملیات جمع‌آوری و بارزدن بار به تریلی به شیوه دستی انجام می‌شود، بنابراین در هر سیکل به‌طور متوسط ۲۴/۲۳ دقیقه (۵۴/۷ درصد) از زمان مربوط به بارگیری است. نکته قابل‌توجه این است که به‌دلیل مجهزبودن تریلی به سیستم کمپرس هیدرولیکی، تخلیه بار به‌راحتی انجام شده و به‌طور متوسط ۲/۳۵ دقیقه در هر سیکل زمان لازم دارد. با توجه به کندی حرکت تراکتور، سرعت حرکت خالی از دپو به جنگل و با بار تراکتور در حمل چوب‌آلات هیزمی به‌ترتیب برابر ۲/۵۶ و ۲/۲ کیلومتر در ساعت است. دلیل عمده کندی سرعت حرکت تراکتور تجهیز آن با تریلی است که به‌طور کلی قابلیت مانور آن را در توده جنگل کاهش داده است. با توجه به اینکه تمام عملیات جمع‌آوری و بارزدن بار به تریلی به شیوه دستی انجام می‌شود، بنابراین در هر سیکل به‌طور متوسط ۲۴/۲۳ دقیقه (۴۱/۵ درصد) از زمان مربوط به بارگیری است. هرچند زمان بارگیری چوب‌آلات کاتینی نسبت به چوب‌آلات هیزمی کمتر است که دلیل آن اندازه بزرگتر و حجم بیشتر آنها است. نکته قابل‌توجه این است که به‌دلیل مجهزبودن تریلی به سیستم کمپرس هیدرولیکی، تخلیه بار به‌راحتی انجام شده و به‌طور متوسط ۲/۵۴ دقیقه در هر سیکل زمان لازم دارد. با توجه به کندی حرکت تراکتور، سرعت حرکت خالی از دپو به جنگل و با بار تراکتور در حمل چوب‌آلات کاتینی به‌ترتیب برابر ۲/۵۸ و ۱/۸۹ کیلومتر در ساعت است.

در این تحقیق متغیرهائی که بیشترین اثرگذاری را بر زمان چوبکشی دارند، عبارتند از: فاصله چوبکشی و تعداد گرده‌بینه در هر بار که منطبق بر نتایج مطالعات انجام‌شده است (Spinelli & Magagnotti, 2012; Gilanipoor *et al.*, 2012; Turk & Gumus, 2012; LeDoux & Huyler, 1992; Turner *et al.*, 1988). هرچند در مدل رگرسیونی خروج چوب‌آلات هیزمی، فاصله و حجم بار تأثیرگذار است، اما در مدل رگرسیونی خروج چوب‌آلات کاتینی تنها فاصله چوبکشی به‌عنوان متغیر مستقل وارد مدل شده است که دلیل آن نسبت کم حجم به‌ازای تعداد در چوب‌آلات هیزمی است که برای فراهم‌کردن بار کافی در یک سیکل تعداد بیشتری باید بار زده شود و در نتیجه زمان بیشتری لازم داشته و تأثیرگذاری عامل حجم نیز مهم و قابل توجه است.

میزان تولید ساعتی با احتساب زمان‌های تأخیر حدود ۱۸ درصد کمتر از تولید خالص سیستم حمل چوب‌آلات هیزمی با تراکتور است. با افزایش فاصله چوبکشی، میزان تولید بدون تأخیر (تولید خالص) در حمل چوب‌آلات هیزمی به‌صورت رابطه لگاریتمی کاهش می‌یابد که با نتایج

تحقیقات Turner و همکاران (۱۹۸۸)، Spinelli & Magagnotti (۲۰۱۲) و Gilanipoor و همکاران (۲۰۱۲) منطبق است. میزان تولید ساعتی با احتساب زمان‌های تأخیر حدود ۲۴ درصد کمتر از تولید خالص سیستم حمل چوب‌آلات کاتینی با تراکتور است. با افزایش فاصله چوبکشی، میزان تولید بدون تأخیر در حمل چوب‌آلات کاتینی به‌صورت رابطه لگاریتمی کاهش می‌یابد. مقایسه تولید خالص در حمل چوب‌آلات کاتینی و هیزمی نشان می‌دهد که مقدار تولید در حمل چوب‌آلات کاتینی ۵۱ درصد بیشتر از مقدار تولید چوب‌آلات هیزمی است که دلیل عمده آن ابعاد مناسب چوب‌آلات کاتینی و زمان کمتر برای عملیات بارگیری آن است. مقدار تولید خالص برای خروج چوب‌های هیزمی کمتر از چوب‌های کاتینی است.

مقدار تولید در حمل کاتین به‌مراتب بیشتر از حمل هیزم است که دلیل عمده آن مربوط به کاهش زمان فراهم‌آوردن حجم بار در حمل کاتین به‌دلیل ابعاد مناسب گرده‌بینه است. اما در حمل هیزم، برای فراهم‌کردن حجم بار مناسب در یک نوبت چوبکشی، باید ده‌ها چوب هیزمی بهم بسته شود که این باعث افزایش زمان چوبکشی می‌شود. همان‌طور که از مدل ریاضی حل هیزم مشاهده می‌شود، تعداد چوب‌آلات نیز بعد از فاصله وارد مدل رگرسیونی (به‌عنوان یک عامل مهم و اثرگذار بعد از فاصله چوبکشی) شده که بر زمان یک نوبت چوبکشی اثر مستقیم دارد. مقایسه تغییرات تولید در حمل دو نوع چوب‌آلات هیزمی و کاتینی نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از مقدار تولید خالص کاسته می‌شود که این روند کاهش به‌صورت تابع لگاریتمی کاهنده است. همچنین مقایسه روند تغییرات تولید نشان می‌دهد که در هر فاصله چوبکشی، میزان تولید در حمل کاتین بیشتر از حمل هیزم است. همچنین مقدار تولید در حمل کاتین با افزایش فاصله دارای روند کاهشی کمتری نسبت به حمل هیزم است. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله چوبکشی، هزینه عملیات چوبکشی هیزم و کاتین با تراکتور افزایش می‌یابد که این افزایش به‌ترتیب به‌صورت رابطه توانی است که منطبق بر نتایج تحقیقات LeDoux & Huyler (۱۹۹۲)، Turk & Gumus (۲۰۱۰)، Gilanipoor و همکاران (۲۰۱۲) و Spinelli & Magagnotti (۲۰۱۲) است. تأخیرهای فنی مشاهده‌شده شامل خرابی کمپرس، پمپ روغن و جوش‌آوردن رادیاتور هستند.

این مطالعه نشان داد که می‌توان با ایجاد تغییراتی در ساختار تراکتورهای کشاورزی و مجهزکردن آنها به کمان، سالکی و تریلی پیش‌حمل، آنها را برای عملیات بهره‌برداری جنگل در مقیاس کوچک استفاده کرد. هرچند این تغییر ساختار هیچ کمکی به بهبود ایمنی کار با این تراکتورها نمی‌کند، اما می‌توان در عرصه‌های کم‌شیب این تراکتورها را بکار برد. با توجه به اینکه خروج گرده‌بینه‌ها با اسکیدرهای چرخ‌لاستیکی و چرخ‌زنجیری انجام می‌شود، از تراکتورهای کشاورزی برای خروج چوب‌آلات کاتینی و هیزمی درختان پهن‌برگ که دارای حجم قابل‌توجهی هستند، استفاده کرد. در مقایسه با سیستم سنتی کوچک‌مقیاس حل سنتی چوب با اسب و قاطر، این سیستم دارای تولید سه تا ۱۰ برابری نسبت به سیستم حمل سنتی است (Ghaffariyan, 2003; Jourgholami *et al.*, 2008) و همچنین اثرات به خاک جنگل نیز در این سیستم کمتر است (Magagnotti & Spinelli, 2011). نکته قابل توجه این است که کاربرد تراکتورها به‌ویژه آنهایی که مجهز به تریلی هستند، مختص مسیرها و عرصه‌های با شیب کم است (عرصه‌هایی با شیب کمتر از ۱۵ تا ۲۰ درصد) و این سیستم همان‌طور که نتایج تحقیقات دیگر نشان داده است، نیازمند یک سیستم تلفیقی دیگر که همان سیستم سنتی حمل با اسب و قاطر است، می‌باشد (Magagnotti & Spinelli, 2011)، چراکه سیستم حمل سنتی توانایی و قابلیت کار در عرصه‌های پرشیب‌تر را دارا است و تلفیق سیستم حمل سنتی با اسب و قاطر با تراکتورهای کشاورزی می‌تواند یک گزینه مناسب برای عملیات خروج چوب‌آلات کاتینی و هیزمی در جنگل‌های شمال ایران باشد. استفاده از تریلی در قسمت عقب تراکتور سبب کاهش قابلیت مانور آن به‌ویژه در عرصه‌های پرشیب و در زمان حرکت با بار است که می‌توان تجهیزاتی دیگری از جمله کمان و سالکی را جایگزین تریلی کرد و نتایج آن

را با سیستم قبلی مقایسه نمود.

با توجه به وجود سیستم کوچک‌مقیاس حمل سنتی، پیشنهاد می‌شود در یک تحقیق استفاده از تراکتورهای کشاورزی و سیستم حمل سنتی ازنظر فاکتورهای اقتصادی و زیست‌محیطی ازجمله صدمه به خاک بررسی شود. با توجه به اینکه تراکتورهای کشاورزی به‌طور اختصاصی برای بخش جنگلداری ساخته نشده‌اند، پیشنهاد می‌شود درخصوص مشکلات ارگونومی و ایمنی آنها تحقیقاتی انجام گیرد. پیشنهاد می‌شود تجهیزاتی دیگری ازجمله کمان و سالکی را جایگزین تریلی نموده و نتایج آن را با سیستم قبلی مقایسه نمود.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۲۸۵۱۴/۱/۳ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است. بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران اعلام می‌دارند.

References

- Akay, A.E. 2005. Determining cost and productivity of using animals in forest harvesting operations. Journal of Applied Sciences Research, 1(2): 190-195.
- Anonymous, 2010. Gorazbon forest management plan. Kheyrud Forest Research Station, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 460p.
- Bjorheden, R. and Thompson, M.A. 1995. An International Nomenclature for Forest Work Study. Paper Presented at the XX IUFRO World Congress, Tampere, 6-12 August, 16p.
- Conway, S. 1984. Logging Practice; Principles of Timber Harvesting Systems. Miller Freeman Publications, Inc. 465p.
- Dykstra, D.P. and Heinrich, R. 1996. FAO Model Code of Forest Harvesting Practice. FAO, Rome, 97p.
- Ghaffariyan, M. 2003. Study of the production and damage to stand (soil and regeneration) due to traditional timber hauling (Case study: Kheyrud forest). M.Sc. thesis, University of Tehran, 109p (In Persian).
- Gilanipoor, N., Najafi, A. and Heshmatolvaezin, S.M. 2012. Productivity and cost of farm tractor skidding. Journal of Forest Science, 58(1): 21-26.
- Greulich, F.R., Hanley, D.P., McNeel, J.F. and Baumgartner, D. 1999. A Primer for Timber Harvesting. EB1316. WSU Cooperative Extension, Pullman, Washington, 33p.
- Huyler, N.K. and LeDoux, C.B. 1989. Small tractors for harvesting fuelwood in low-volume small diameter hardwood stands. In: Proceedings of the 12th annual meeting of the Council on Forest Engineering, 1989 August 27-30; Coeur d'Alene, ID. Atlanta, GA: US. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Region: 61-66.
- Jourgholami, M., Majnounian, B., Zobeiri, M. and Feghhi, J. 2008. Evaluation of production and costs of mule logging in down and up slopes (Case study: Kheirood forest). Journal of the Iranian Natural Resources, 61(3): 625-636 (In Persian).
- Kent, T., Kofman, P.D. and Coates, E. 2011. Harvesting Wood for Energy. Cost-effective woodfuel supply chains in Irish forestry. COFORD, Dublin, 98p.
- Lanford, B.L., Sobhani, H. and Stokes, B.J. 1990. Tree length loading production rates for southern pine. Forest Products Journal, 33(10): 56-66.
- LeDoux, C.B. and Huyler, N.K. 1992. Cycle-time equations for five small tractors operating in low-volume small-diameter hardwood stands. Res. Pap. NE-664. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 6p.
- Magagnotti, N. and Spinelli, R. 2011. Integrating animal and mechanical operations in protected areas. Croatian Journal of Forest Engineering, 32(2): 489-499.
- Miyata, E.S. 1980. Determining fixed and operational costs of logging equipment. USDA Forest Service, General Technical Report NC-55, 16p.
- Russell, F. and Mortimer, D. 2005. A Review of Small-Scale Harvesting Systems in Use Worldwide and Their Potential Application in Irish Forestry. COFORD, National Council for Forest Research and Development, Dublin,

Ireland, 48p.
- Sobhani, H. 2006. Guidelines for Planning Depot and Skid Trails. 45p.
- Sobhani, H. and Raafatnia, N. 1997. Guidelines of Forest Harvesting Plan Preparation. 39p.
- Sowa J., Kulak, D. and Szewczyk, G. 2007. Costs and efficiency of timber harvesting by NIAB 5–15 processors mounted on a farm tractor. Croatian Journal of Forest Engineering, 28(2): 177-184.
- Spinelli, R. and Baldini, S. 1992. Productivity and cost analysis of logging arch used with farm tractor in Mediterranean forest skidding operations. Forest System, 1: 211-221.
- Spinelli, R. and Magagnotti, N. 2012. Wood extraction with farm tractor and sulky: estimating productivity, cost and energy consumption. Small-scale Forestry, 11: 73-85.
- Spinelli, R. and Visser, R. 2008. Analyzing and estimating delays in wood chipping operations. Biomass and Bioenergy, 3: 1-5.
- Šušnjar, M., Horvat, D., Kristi, A. and Pandur, Z. 2008. Morphological analysis of forest tractor assemblies. Croatian Journal of Forest Engineering, 29(1): 41-51.
- Turk, Y. and Gumus, S. 2010. Logs skidding with farm tractors. FORMEC 2010, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment, July 11-14, Padova, Italy, 1-6.
- Turner, T.L., Huyler, N.K. and Bousquet, D.W. 1988. Farm tractor skidding costs in relation to profitability of a fuelwood harvesting system. Northern Journal of Applied Forestry, 5(3): 207-210.
- Updegraff, K. and Blinn, C.R. 2000. Applications of Small-Scale Forest Harvesting Equipment in the United States and Canada. Staff Paper Series No. 143. College of Natural Resources and Minnesota Agricultural Experiment Station, University of Minnesota, St. Paul, Minnesota, 51p.
- Zenner, E.K., Fauskee, J.T., Berger, A.L. and Puettmann, K.J. 2007. Impacts of skidding traffic intensity on soil disturbance, soil recovery, and aspen regeneration in north central Minnesota. Northern Journal of Applied Forestry, 24: 177-183.

Productivity of timber extraction using farm tractor equipped with trailer (Case study: in Kheiroud Forest in northern Iran)

M. Jourgholami[1*] and B. Majnounian[2]

1*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran. E-Mail: mjgholami@ut.ac.ir
2- Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

Received: 02.21.2013 Accepted: 02.23.2014

Abstract

In the Hyrcanian forest of Iran, farm tractors equipped with 2-wheels trailer are mostly used to perform forwarding operations of pulpwood and fuelwood in small-scale timber harvesting. This study was carried out in Gorazbon district in Kheiroud experimental forest to evaluate time regression models and estimate the forwarding costs. A continuous time study was conducted to explore farm tractor for forwarding pulpwood and fuelwood, to assess farm tractor productivity and costs and to identify those variables which are most likely influential. The model indicates that the most influential important on forwarding productivity were the forwarding distance and the number of logs per turn. The average productivity of forwarding with farm tractor was 2.66 and 3.83 m^3 for pulpwood and fuelwood, respectively. When the forwarding distance increased, the total time of a cycle increased as well. In addition, productivity of farm tractor was decreased by increasing the forwarding distance in a logarithmic manner. The cost of the farm tractor logging system was 508635 Rial per productive machine hours. Furthermore, hourly costs of pulpwood and fuelwood forwarding were 132730 and 190960 Rial/m^3, respectively. The cost of farm forwarding was increased as simple power equation when extraction distance was increased. The element time consumption showed that the loading phase was the highest time consumption phase per turn, mainly due to labor-intensive manual loading and physical handling of logs. The forwarding operation is, however, concluded to bear advantages such as larger payload, less soil disturbance, and transportation of the logs from stump to the logging truck off-ground. It is therefore a good alternative for extraction of pulpwood and fuelwood in gentle slope in the Hyrcanian forests.

Keywords: Timber extraction, farm tractor, pulpwood, fuelwood, time study, Kheiroud forest.