

برنامه‌ریزی شبکه جاده جنگلی با در نظر گرفتن هزینه‌های جاده‌سازی و بهره‌برداری (مطالعه موردی: بخش گرازبن)

مقداد جور غلامی^{*}، احسان عبدی^۱، وودام چونگ^۲ و باریس مجنونیان^۳

^۱استادیار گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۲دانشیار گروه مدیریت جنگل دانشکده جنگلداری و حفاظت، دانشگاه مونتانا

^۳استاد گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۸ / ۵ / ۸۹، تاریخ پذیرش: ۲۲ / ۱۰ / ۸۹)

چکیده

جنگل‌های خزری تنها منبع تولید چوب در ایران هستند. معمول‌ترین روش چوبکشی و خروج نیز چوبکشی زمینی با استفاده از اسکیدرهاست. به دلیل کافی نبودن تراکم جاده‌های جنگلی، قسمت‌های زیادی از این جنگل‌ها دور از دسترس هستند. بنابراین به منظور تسهیل عملیات بهره‌برداری، افزایش تراکم جاده‌های جنگلی به عنوان یک راه حل مطرح است. هدف از این مطالعه، تلفیق هزینه‌های بهره‌برداری (منتج از مطالعه زمانی) و جاده‌سازی با استفاده از نرم‌افزار NETWORK 2000 و تصمیم‌گیری در مورد گسترش شبکه جاده بخش گرازبن از جنگل خیرود بود. در این تحقیق از مطالعه زمانی پیوسته بر اساس داده‌های واقعی چوبکشی استفاده شد. مدل رگرسیونی به دست آمده تابع عامل فاصله چوبکشی است. نتایج نشان داد که حداقل هزینه جاده‌سازی و چوبکشی در حالتی امکان‌پذیر است که تمامی جاده‌های پیشنهادی ساخته شوند.

واژه‌های کلیدی: شبکه جاده جنگلی، بهینه‌سازی، NETWORK 2000، هزینه‌های ثابت، هزینه‌های متغیر.

مقدمه و هدف

عمیات مهندسی جنگل شامل جاده‌سازی و بهره‌برداری است که از قسمت‌های مهم مدیریت جنگل به‌شمار می‌روند. جنگل‌های خزری با مساحت حدود ۱/۹ میلیون هکتار به‌عنوان تنها منبع تولید چوب در ایران مطرح هستند. چوبکشی زمینی، رایج‌ترین شیوه بهره‌برداری و شامل بیرون کشیدن درختان قطع‌شده از عرصه قطع تا کنار دپو و تبدیل در دپو و حمل با کامیون تا محل مصرف است. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه تولید و هزینه بهره‌برداری و تاثیر عوامل مختلف بر کارایی آن انجام گرفته است (Meng, 1984; Lanford *et al.*, 1990; Abeli, 1993; Bjorheden & Thompson, 1995; McDonald & Rummer, 2002; Wang & Haarla, 2002; Egan & Baumgas, 2003; Wang, 2003; Akay *et al.*, 2004). در شمال ایران هم (Sobhani & Staurt, 1991) برای اولین بار سیستم بهره‌برداری با استفاده از چوبکش کلارک را ارزیابی کردند. البته پژوهشگران دیگری نیز تولید و هزینه سیستم چوبکشی زمینی را بررسی کردند (فقهی، ۱۳۶۸؛ نقدی، ۱۳۸۳). تراکم جاده در جنگل‌های شمال به نسبت کم و در بعضی مناطق بین ۱ تا ۲ متر در هکتار است. برای افزایش قابلیت دسترسی، افزایش تراکم تا حدود ۲۰ متر در هکتار ضروری است (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۹). برای رسیدن به این مقدار تراکم، به حجم وسیعی از عملیات طراحی و ساخت جاده نیاز است. جاده‌های جنگلی زیرساخت ضروری به‌منظور دسترسی به جنگل برای مجموعه‌ای از فعالیت‌ها هستند. سودمندی عملیات بهره‌برداری تا حد زیادی به وضعیت و شرایط شبکه جاده موجود بستگی دارد (Murray, 1998). بنابراین طراحی و ساخت اصولی جاده‌ها عامل مهمی در اقتصادی بودن بهره‌برداری به حساب می‌آید (Abeli *et al.*, 2000). با وجود این، هنوز هم طراحی و برنامه‌ریزی شبکه جاده‌ای متناسب با اهداف بهره‌برداری مشکل و زمان‌بر بوده و استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و موضوعی رایج‌ترین ابزارها برای طراحی است (Liu & Sessions, 1993; Rogers, 2005). روش‌های سنتی، فقط گزینه‌های کمی را می‌توانند بررسی کنند و ممکن است شبکه‌ای ناکارآمد از نظر بهره‌برداری را شکل دهند (Chung *et al.*, 2008; Abdi *et al.*, 2009). با

توجه به نکات ذکرشده، توسعه روش‌هایی برای کمک به طراحی و ارزیابی شبکه جاده با در نظر گرفتن نیازهای دسترسی حال و آینده و انتخاب گزینه بهینه اقتصادی، به‌عنوان زمینه‌های تحقیقاتی پیش‌رو مطرح هستند (Murray, 1998). طراحی شبکه جاده به‌طور عمومی شامل تصمیم‌گیری در مورد مکان‌یابی با در نظر گرفتن یک‌رشته نقاط از پیش تعیین‌شده (مانند دپوها) و به‌شرطی که هزینه‌های بهره‌برداری و جاده‌سازی حداقل شود، است. Matthews (1942) مدل تئوری بهینه را ارائه داد که هزینه‌ها در آن حداقل بود، ولی به دلیل فرضیات مدل که معمولاً در جنگل پیش نمی‌آیند، کاربرد چندانی نیافت (Chung *et al.*, 2008). تاکنون طراحی شبکه معمولاً به‌صورت دستی انجام می‌گرفت، هر چند در مطالعاتی چند از برنامه‌ریزی‌ها و الگوریتم‌های ریاضی استفاده شده است (Ghafarian & Sobhani, 2007). از جمله برنامه‌های حل مسئله شبکه در مورد جاده‌های جنگلی است. این ابزار با استفاده از الگوریتم‌های اکتشافی^۱ مسائل هزینه‌های ثابت و متغیر شبکه جاده را به‌سرعت حل می‌کند (Chung & Sessions 2003). Ghafarian & Sobhani (2007) این مدل را برای تصمیم‌گیری در مورد حذف شاخه‌های غیرضروری بخش نمخانه به‌منظور حداقل کردن هزینه کل استفاده کردند. هدف از این مطالعه، برآورد هزینه‌های بهره‌برداری و حمل و نقل و استفاده از آنها به‌عنوان ورودی مدل NETWORK 2000 (Chung & Sessions, 2003)، به‌منظور انتخاب شبکه جاده بهینه با دارا بودن حداقل هزینه جاده‌سازی و بهره‌برداری است. این مدل در بخش گرازبن از جنگل خیرود به‌کار گرفته و ۲۴۴ ارتباط برای تحلیل این بخش ساخته شد.

NETWORK 2000 نیازمند دو سری داده است: اطلاعات اتصال^۲ و اطلاعات فروش^۳. اطلاعات اتصال شامل هزینه‌های ثابت و متغیر گره‌های شبکه جاده است. اتصال‌ها ممکن است نمایانگر جاده‌های موجود، پیشنهادی یا مسیر خروج چوب از پارسل قطع تا دپو باشند. اگر یک اتصال نمایانگر مسیر خروج چوب به دپو باشد، هزینه بهره‌برداری

1- Heuristic

2- Link data

3- Sale data

پروژه و نقشه‌های اجرایی آن در طول دوره آینده ساخته خواهد شد (طرح جنگلداری گرازبن، ۱۳۸۹).

- داده‌های مورد استفاده

به‌منظور برآورد تولید و هزینه اسکیدر تیمبرچک 450C از روش زمان‌سنجی استفاده شد (جورغلامی و مجنونیان، ۱۳۸۹). اجزای کار شامل حرکت بدون بار، آزاد کردن کابل، بستن سیم کابل، وینچ کردن، حمل بار، آزاد کردن و دیو کردن بود. تاخیرهای شخصی، فنی و اجرایی نیز طی عملیات ثبت شدند. علاوه بر اندازه‌گیری‌های مربوط به چرخه کاری اسکیدر، متغیرهای مستقل نیز که ممکن بود تولید را تحت تاثیر قرار دهند، برداشت شدند. متغیرهای اندازه‌گیری‌شده شامل فاصله چوبکشی (متر)، شیب مسیر چوبکشی (درصد)، تعداد تنه در هر بار چوبکشی و حجم بار بود. در مجموع ۱۵۰ چرخه کاری برداشت شد. همچنین داده‌های مربوط به حجمی که می‌توان از آن بهره‌برداری کرد و هزینه‌های جاده‌سازی از دفترچه طرح بخش استخراج شد. ۴۰۲۴۹ مترمکعب نشانه‌گذاری برای ۱۰ سال آینده در نظر گرفته شده است (جدول ۱). در مورد جاده، هزینه سالانه (ریال در سال) بر مبنای هزینه کل ساخت (جدول ۲) نرخ سود ۵ درصد و عمر مفید ۵۰ سال محاسبه شد. مقدار سود سرمایه‌گذاری و هزینه استهلاک طی عمر مفید، به ترتیب ۸/۱۹ و ۲۰/۴۷۵ میلیون ریال در کیلومتر محاسبه شد. بنابراین هزینه سالانه ۲۸/۶۶۵ میلیون ریال در کیلومتر به دست آمد. هزینه حمل با کامیون بر حسب مترمکعب چوب به‌عنوان هزینه متغیر ۳۰۰۰ ریال در کیلومتر در نظر گرفته شد. اطلاعات اولیه مورد نیاز برای استفاده از NETWORK 2000 به شرح زیر تهیه شد. ابتدا به هر کدام از پارسل‌ها یک یا چند دیو تخصیص داده شد (گره‌های دیو) که در کنار جاده واقع شده‌اند. این گره‌ها نشان‌دهنده محل‌های بالقوه دیو هستند که چوب از جنگل به آنها منتقل می‌شود. برای هر گره شناسه خاصی در نظر گرفته شد و با استفاده از یک مسیر فرضی به پارسل خود وصل شد که این مسیر نشان‌دهنده جریان چوب از جنگل به دیو است. هر پارسل که می‌توان از آن بهره‌برداری کرد، به‌عنوان یک منبع تولید در نظر گرفته و یک حجم برداشت به آن تخصیص داده شد (استخراج شده از دفترچه طرح). به هر مسیر فرضی ارتباطی بین پارسل و دیو، هزینه چوبکشی

در واحد حجم چوب، به‌عنوان هزینه متغیر اتصال شناخته می‌شود. اگر اتصال نمایانگر، پیشنهادی باشد، هزینه ساخت جاده، هزینه ثابت اتصال است و هزینه ثابت جاده موجود برای اتصال آن، صفر در نظر گرفته می‌شود. اطلاعات فروش شامل مبدأ چوب (پارسل)، مقصد، حجم و سال تولید است. بعد از تهیه اطلاعات ورودی، مدل، اقتصادی‌ترین راه خروج چوب را با توجه به مبدأ و مقصد تعیین می‌کند. این مسیرها با حداقل هزینه (خروجی NETWORK 2000) در مرحله بعد برای مشخص کردن مسیرهای جاده ساخته‌شده و پیشنهادی و دیوهای مناسب برای عملیات بهره‌برداری در منطقه مورد نظر به کار می‌روند.

مواد و روش‌ها

- منطقه تحقیق

منطقه تحقیق، بخش گرازبن به وسعت ۱۰۰۰/۵۲ هکتار، سومین بخش از مجموعه جنگل‌های تحت مدیریت دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران است که در ۷ کیلومتری شرق نوشهر قرار دارد. ارتفاع از سطح دریا ۵۵۰ تا ۱۳۸۰ متر و بارندگی ۱۴۵۸ میلی‌متر است. شیوه بهره‌برداری و جنگل‌شناسی در پارسل‌های مورد تحقیق به صورت تک‌گزینی است. شیب بخش گرازبن بین ۰ تا ۸۵ درجه و متوسط شیب این بخش ۱۵ درجه است. به دلیل آهکی بودن سنگ مادر منطقه و جریان دائمی آب در رودخانه خیرود و در نتیجه سهولت عمل فرسایش، رودخانه خیرود با عبور از زمین‌های آهکی مسیر خود را حفر کرده و تاکنون به عمق ۲۰۰ تا ۳۰۰ متری رسانده است. قسمت جنوبی این بخش که مشرف به رودخانه است، بیشتر پرشیب است و در حال حاضر و با در نظر گرفتن امکانات فعلی نمی‌توان از آن بهره‌برداری کرد. به همین دلیل تمام این قسمت شامل پارسل‌های ۳۰۱ تا ۳۰۳ به مساحت ۱۸۷ هکتار به‌عنوان جنگل حمایتی در نظر گرفته شده است. از کل مسیرهای شبکه راه‌های طرح گرازبن، مسیرهای اصلی در مجموع به طول ۱۲/۴۵ کیلومتر ساخته شده‌اند. مسیرهای باقی‌مانده یعنی یک مسیر اصلی به طول ۵/۴۲ کیلومتر و مسیر فرعی ۱/۵ کیلومتری (در مجموع ۶/۹۲ کیلومتر) در طبیعت مسیریابی شده است و پس از تهیه

بهره‌برداری ۴۰۲۱۷ مترمکعب در ۱۰ سال طراحی شد (شکل ۱). سپس برنامه‌ی NETWORK 2000 برای یافتن مسیرهای اقتصادی بهینه خروج چوب برای منطقه به کار گرفته شد.

در واحد حجم تخصیص داده شد. هزینه چوبکشی، بر مبنای متوسط فاصله چوبکشی در پارسل و نتایج زمان‌سنجی محاسبه شد. فاصله نقطه ثقل پارسل تا دپو به‌عنوان متوسط فاصله چوبکشی در نظر گرفته شد (Pentek et al., 2005). ۲۴۴ مسیر و ۱۰۸ دپو برای ۳۷ پارسل با حجم شایان

جدول ۱- حجم برآوردشده در منطقه مورد مطالعه

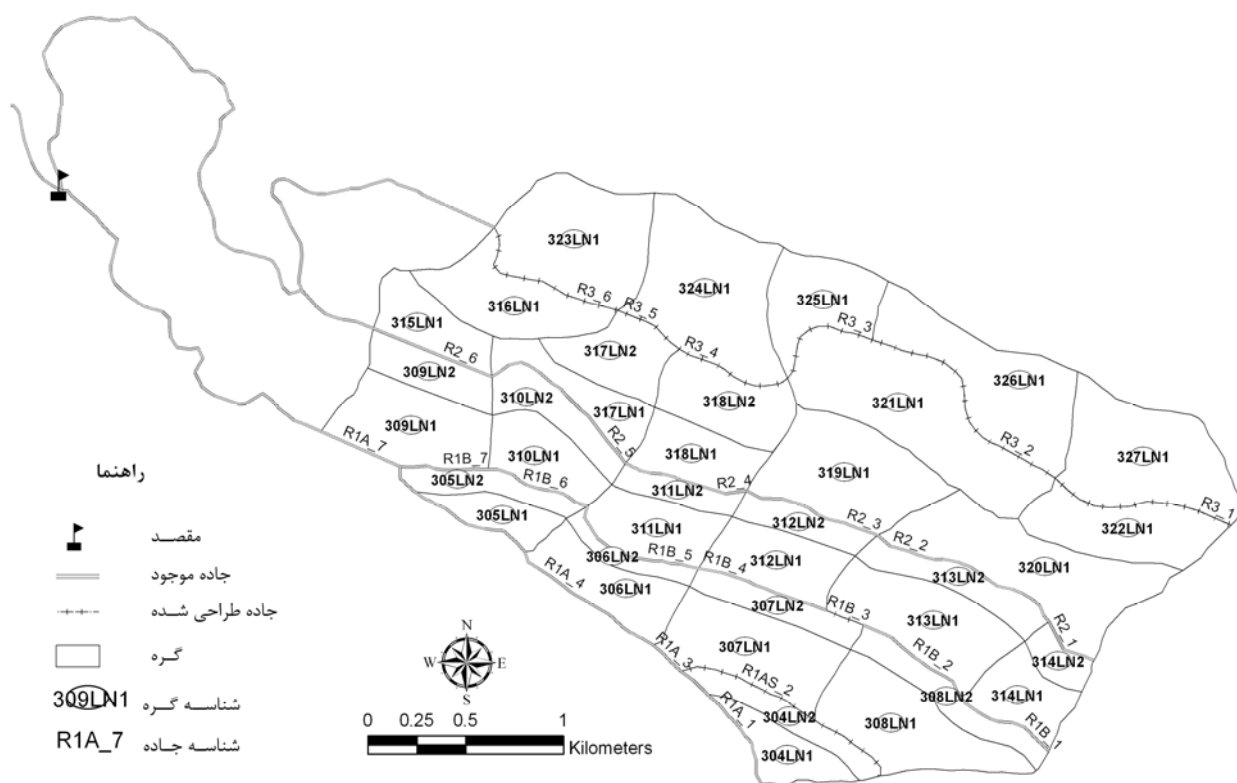
| سال | حجم (مترمکعب) | قطعه برداشت شده | سال | حجم (مترمکعب) | قطعه برداشت شده | سال | حجم (مترمکعب) | قطعه برداشت شده |
|-----|---------------|-----------------|-----|---------------|-----------------|-----|---------------|-----------------|
| ۶ | ۲۲۰۱/۷ | 323LN1 | ۲ | ۷۵۸/۸ | 313LN2 | ۰ | ۱۵۱۹/۶ | 309LN1 |
| ۶ | ۱۲۰۱/۲ | 327LN1 | ۳ | ۱۰۹۰/۸ | 317LN2 | ۰ | ۱۳۴۹/۷ | 307LN1 |
| ۶ | ۹۹۹ | 322LN1 | ۳ | ۹۹۰ | 318LN2 | ۰ | ۴۹۰/۸ | 307LN2 |
| ۷ | ۲۶۹۹/۹ | 324LN1 | ۳ | ۸۱۰ | 318LN1 | ۰ | ۶۸۱/۲ | 309LN2 |
| ۷ | ۱۴۰۱/۳ | 316LN1 | ۳ | ۹۶۹/۶ | 317LN1 | ۱ | ۸۴۴/۲ | 310LN1 |
| ۸ | ۲۶۹۹/۹ | 319LN1 | ۴ | ۲۲۹۸/۳ | 320LN1 | ۱ | ۶۳۲/۷ | 311LN1 |
| ۸ | ۴۴۵/۵ | 305LN1 | ۴ | ۷۲۸ | 314LN1 | ۱ | ۱۲۰۰ | 312LN1 |
| ۸ | ۴۰۵ | 305LN2 | ۴ | ۶۵۰ | 304LN1 | ۱ | ۶۵۶/۶ | 310LN2 |
| ۹ | ۱۰۰۰ | 315LN1 | ۴ | ۶۰۰ | 304LN2 | ۱ | ۲۶۶/۴ | 311LN2 |
| ۹ | ۲۲۰۰ | 321LN1 | ۴ | ۳۱۸/۵ | 314LN2 | ۱ | ۶۰۰ | 312LN2 |
| ۹ | ۵۸۳/۸ | 306LN1 | ۵ | ۶۹۹/۲ | 325LN1 | ۲ | ۱۷۸۸/۶ | 313LN1 |
| ۹ | ۱۶۶/۸ | 306LN2 | ۵ | ۲۷۰۱/۹ | 326LN1 | ۲ | ۱۲۷۵ | 308LN1 |
| - | - | - | - | - | - | ۲ | ۵۲۵ | 308LN2 |

۱- به شکل ۱ بر می‌گردد که مربوط به قطعات مورد برداشت است.

۲- سال صفر همان سال اول در تحقیق است.

جدول ۲- هزینه‌های ساخت جاده در بخش گرازبن جنگل خیرود

| مولفه‌های هزینه ساخت جاده | طراحی | خاک‌برداری و خاک‌ریزی | شن‌ریزی | ابنیه فنی | تعمیر و نگهداری | جمع |
|---------------------------|-------|-----------------------|---------|-----------|-----------------|-------|
| هزینه (میلیون ریال) | ۱۰ | ۹۰ | ۲۴۰ | ۵۰ | ۱۹/۵ | ۴۰۹/۵ |



شکل ۱- گره‌ها و ارتباط‌های به‌کاررفته در مدل

نتایج

زمان‌سنجی یک نوبت چوبکشی

با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام، داده‌های زمان‌سنجی تحلیل شدند. نتایج نشان داد که فاصله چوبکشی به‌طور معنی‌داری زمان یک نوبت چوبکشی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (شکل ۲)، مدل ریاضی پیش‌بینی زمان چوبکشی با اسکیدر تیمبرجک به‌دست‌آمده در این تحقیق عبارت است از معادله رگرسیون چندمتغیره زمان یک نوبت چوبکشی، به‌صورت تابعی از متغیر فاصله چوبکشی (رابطه ۱).

$$Y = 6/43235 + 0/02686 X_1$$

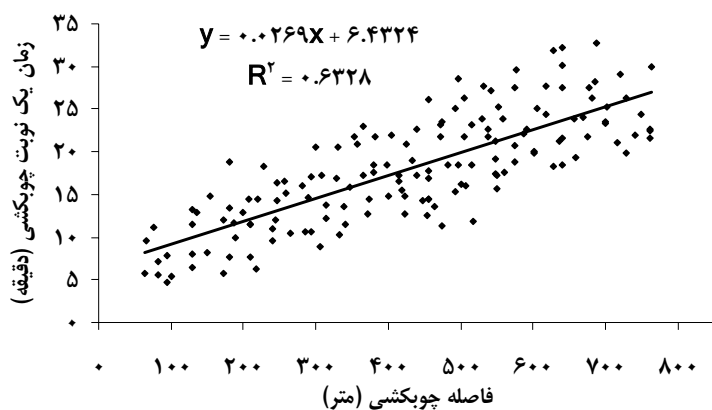
که در رابطه ۱:

$Y =$ زمان خالص چوبکشی (دقیقه) ؛ $X_1 =$ فاصله چوبکشی (متر) است. سطح معنی‌داری با استفاده از آزمون F (جدول

جدول ۳- تجزیه واریانس مدل ریاضی پیش‌بینی زمان چوبکشی با اسکیدر تیمبرجک

| منبع | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | $F = \frac{MSK}{MSe}$ | R2 (%) | r |
|---------|--------------|------------|----------------|-----------------------|--------|------|
| رگرسیون | ۳۹۵۶/۳۴ | ۱ | ۳۹۵۶/۳۴ | ۲۵۸/۵ | ۶۳/۳ | ۰/۸۰ |
| خطا | ۲۲۹۵/۶۳ | ۱۵۰ | ۱۵/۳ | | | |
| مجموع | ۶۲۵۱/۹۷ | ۱۵۱ | | | | |

تجزیه واریانس) برای برازش رابطه مناسب در شکل ۲ و آزمون t برای تک‌تک ضرایب بررسی شد (جدول‌های ۳ و ۴).



شکل ۲- ابر نقاط رابطه بین فاصله چوبکشی و زمان خالص

جدول ۴- ضرایب رابطه رگرسیون مدل زمان چوبکشی و آزمون معنی‌دار بودن آنها

| فاکتور | ضریب رگرسیون | | سطح معنی‌داری |
|--------------|----------------|---------------|---------------|
| | استاندارد نشده | استاندارد شده | |
| | Coeff. | Beta | آماره t |
| فاصله چوبکشی | ۰/۰۰۲ | ۰/۷۹ | ۱۶/۰۷ |
| ضریب ثابت | ۰/۷۸ | ۶/۴۳ | ۸/۲ |

- تولید ماشین

با استفاده از اطلاعات حجم و زمان تولید حاصل از زمان‌سنجی، مقدار تولید ساعتی اسکیدر برآورد شد (رابطه ۲).

رابطه ۲

$$\text{میزان} = \frac{\text{حمل}}{\text{میزان}}$$

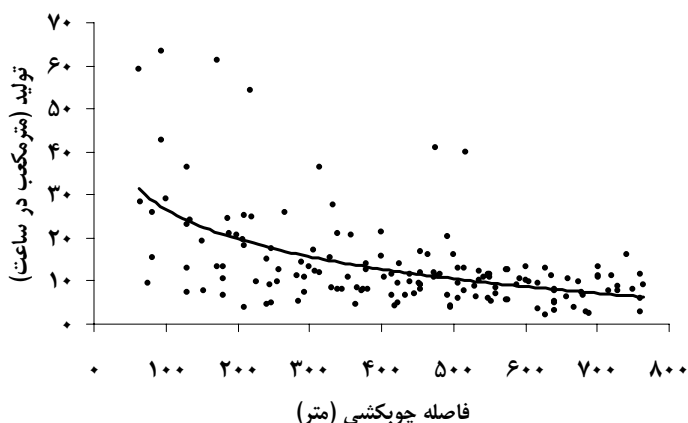
و تولید ساعتی انجام گرفت (رابطه ۳). معنی‌دار بودن با استفاده از آزمون F برای کل داده‌ها انجام گرفت (جدول ۵). رابطه ۳

$$Y = -10.04 \ln(x) + 72.943$$

که در رابطه ۳:

Y = مقدار تولید اسکیدر (مترمکعب در ساعت) و X = فاصله چوبکشی (متر) است.

تولید ساعتی (مقدار چوب کشیده شده به دیو) با و بدون احتساب زمان تاخیر، در چوبکشی با اسکیدر تیمبرجک به ترتیب ۸/۳ و ۱۱/۱ مترمکعب در ساعت است. مقدار تولید با در نظر گرفتن زمان‌های تاخیر ۲۵ درصد کمتر از تولید خالص است. همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، با افزایش فاصله از مقدار تولید ساعتی چوبکشی بدون احتساب زمان تاخیر به صورت تابع لگاریتمی کاسته می‌شود و نقطه بحرانی کاهش سریع تولید تا فاصله ۳۰۰ متر است و بعد از آن روند تولید با آهنگ کندتری کاهش می‌یابد. با استفاده از تابع لگاریتمی برازش به ابر نقاط فاصله چوبکشی



شکل ۳- تغییرات تولید چوبکشی با اسکیدر در ارتباط با فاصله

جدول ۵- تجزیه واریانس مدل ریاضی پیش‌بینی مقدار تولید چوبکشی بدون در نظر گرفتن زمان تاخیر

| منبع | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | $F = \frac{MSK}{MSe}$ | R^2 (%) | r |
|---------|--------------|------------|----------------|-----------------------|-----------|------|
| رگرسیون | ۵۱۶۳/۷۶ | ۱ | ۵۱۶۳/۷۶ | ۶۹/۹ | ۲۹/۵ | ۰/۵۴ |
| خطا | ۱۲۳۱۱/۶۱ | ۱۵۰ | ۸۲/۰۸ | | | |
| مجموع | ۱۷۴۷۵/۳۷ | ۱۵۱ | | | | |

- برآورد هزینه‌های چوبکشی

به‌منظور محاسبه هزینه سیستم چوبکشی با اسکیدر تیمبرجک از دستورالعمل پیشنهادی تهیه طرح بهره‌برداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (۱۳۷۶) استفاده شده است. با استفاده از این دستورالعمل، هزینه

سیستم چوبکشی که شامل مجموع هزینه‌های ماشین و هزینه کارگری است، محاسبه شده است. مبنای محاسبه قیمت‌ها، قیمت ماشین و دیگر لوازم و وسایل در سال ۱۳۸۷ است. با توجه به آب و هوای منطقه و همچنین اشتغال کارگران جنگل به امور دیگر، تعداد روزهای کار

جدول ۶، خلاصه هزینه‌یابی سیستم چوبکشی با اسکیدر تیمبرجک نشان داده شده است. گروه کاری متشکل از سه نفر شامل راننده، کمک‌راننده و کارگر همراه است.

۱۸۰ روز، عمر مفید ماشین ۱۰ سال، قیمت خرید ۱/۲ میلیارد ریال و نرخ سود سالانه و نرخ بیمه و مالیات به ترتیب ۱۹ درصد و ۷۱/۴ درصد در نظر گرفته شد. در

جدول ۶- هزینه‌یابی سیستم چوبکشی با اسکیدر تیمبرجک

| کل هزینه سیستم (ریال) | هزینه کارگری (ریال) | نرخ ماشین (ریال) | هزینه‌های متغیر (ریال) | | | | هزینه‌های ثابت (ریال) | | | | شاخص هزینه | |
|-----------------------|---------------------|------------------|------------------------|-------|--------|-------------|-----------------------|------------------------|---------------|------------|------------|---------|
| | | | هزینه در ساعت کار مفید | کابل | تایرها | سوخت و روغن | تعمیر و نگهداری | هزینه در ساعت کار مفید | بیمه و مالیات | سود سرمایه | | استهلاک |
| ۶۵۸۳۶۰ | ۱۳۷۵۰۰ | ۵۲۰۸۶۰ | ۲۲۷۴۱۷ | ۲۹۸۶۷ | ۳۵۵۵۰ | ۵۴۰۰۰ | ۱۰۸۰۰۰ | ۲۹۳۴۴۳ | ۲۴۰۰۹۰۰۰ | ۱۳۲۰۹۰۰۰۰ | ۱۰۸۰۰۰۰۰۰ | هزینه |

زمان را شامل می‌شود. NETWORK 2000 تمام جاده‌های پیشنهادی را برای استفاده انتخاب نکرد، زیرا در بعضی پارسل‌ها هزینه جاده‌سازی بیشتر از هزینه چوبکشی در مسیرهای طولانی است. برای مثال چوب‌های قسمت پایین پارسل ۳۰۸ (308LN1) و قسمت بالای پارسل ۳۰۴ (304LN2) را از دو راه می‌توان منتقل کرد. RIAS-1 و RIAS-2 در مورد پارسل ۳۰۸ هزینه چوبکشی با در نظر گرفتن دپو سمت RIAS-1 ۶/۵۴ در هر مترمکعب است، در صورتی که در مورد گزینه RIAS-2، ۱۱/۸۰ در هر مترمکعب (به دلیل مسافت چوبکشی بیشتر) است. اگر چه کمتر بودن هزینه چوبکشی با گزینه RIAS-1 به دلیل حجم به نسبت اندک برداشت از دو پارسل (۱۸۷۵ متر مکعب) برای جبران هزینه ساخت جاده اضافی (۱۷۴/۱۳۴ میلیون ریال) که بین RIAS-1 و RIAS-2 ساخته خواهد شد، کافی نیست.

به‌عنوان نتیجه‌گیری، در این مطالعه یک روش تصمیم‌گیری در مورد طرح‌ریزی عملیات بهره‌برداری ارائه شد. با استفاده از داده‌های زمان‌سنجی و ابزار NETWORK 2000، اقتصادی‌ترین مسیرهای چوبکشی و جاده‌سازی تعیین شد. همان‌طور که Chung et al., (2008) اشاره کردند، الگوریتم مورد استفاده در NETWORK 2000 بهینه بودن راه‌حل را تضمین نمی‌کند و در عوض می‌تواند توازن بین هزینه‌های جاده و چوبکشی را آنالیز کرده و هزینه حداقل شبکه جاده و بهره‌برداری را پیدا کند. در این زمینه NETWORK 2000 می‌تواند ابزار بسیار مفیدی در ایران برای آنالیز گزینه‌های شبکه جاده و انتخاب بهترین گزینه با در نظر گرفتن حداقل هزینه کل باشد.

هزینه ساعتی ماشین ۶۵۸۳۶۰ ریال در ساعت به‌دست آمد. هزینه واحد تولید با و بدون احتساب زمان‌های تاخیر، به ترتیب ۷۹۳۱۰ و ۵۹۰۷۵ ریال بر مترمکعب است. هزینه چوبکشی با احتساب تاخیرها بیشتر از هزینه تولید خالص است و با مدیریت در تاخیرها می‌توان هزینه‌های تولید را تا ۲۵ درصد کاهش داد.

– راه‌حل بهینه NETWORK 2000

راه‌حل بهینه NETWORK 2000 نشان داد که به حداقل رساندن هزینه‌های جاده‌سازی و بهره‌برداری در حالتی امکان‌پذیر است که ۳/۶۳ کیلومتر از جاده‌های طراحی شده (از R3_2 تا R3-6 و دیگری از RIAS_2 تا RIA_3 در شکل ۱) ساخته شوند. هزینه کل متغیر شامل چوبکشی و حمل و نقل ۳۲۰۴۸/۸ میلیون ریال برای ۴۰۲۵۰ مترمکعب چوب ۳۷ قطعه برآورد شد. در حالی که هزینه کل جاده در ۱۰ سال ۹۸۲۸۰۴ ریال برآورد شد. هزینه متوسط بهره‌برداری و جاده‌سازی برای هر مترمکعب ۸۲۰۶۲ و ۲۴۴۴۴ ریال است.

بحث

در پژوهش حاضر مقدار تولید تیمبرجک 450C نسبت به دیگر مطالعات صورت‌گرفته در شمال ایران کمتر بود (فقهی، ۱۳۶۸؛ نقدی، ۱۳۸۳). دلیل اصلی این مسئله، روش تبدیل و چوبکشی گرده‌بینة کوتاه در منطقه بود. در پژوهش نقدی (۱۳۸۳) روش تمام‌تنه استفاده شده و مقدار تولید با تاخیر و بدون تاخیر اسکیدر به ترتیب ۱۳/۶ و ۱۷/۱ مترمکعب در ساعت گزارش شد. بر اساس این تحقیق، عملیات وینچینگ بیشترین زمان عملیات (۲۴ درصد کل

منابع

- Chung, W. & J. Sessions, 2003. NETWORK 2000: a program for optimizing large fixed and variable cost transportation problems. In proceeding of the 24th council of Forest Engineering Conference, 15-19 July 2001, Snowshoe, West Virginia. Edited by J. Wang, M. Wolford & J. McNeel. West Virginia University, Morgantown, W.V, 12 p.
- Egan, A.F. & J. Baumgas, 2003. Ground skidding and harvested stand attributes in Appalachian Hardwood stands in West Virginia, *Forest Products Journal*, 53(9): 59-65.
- Ghafarian, R. & H. Sobhani, 2007. Optimization of an existing forest road network using NETWORK 2000, *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28(2): 185-193.
- Lanford, B.L., H. Sobhani & B.J. Stokes, 1990. Tree length loading production rates for southern pine, *Forest Products Journal*, 33(10): 121-126.
- Liu, K. & J. Sessions, 1993. Preliminary planning of road systems using digital terrain models, *Journal of Forest Engineering*, 4(1): 27-32.
- Matthews, D.M., 1942. Cost control in the logging industry, Mc Graw-Hill, New York. 374 pp.
- McDonald, T. & B. Rummer, 2002. Automating time study of feller-buncher, In. proc: The 33rd Annual meeting of council of afforests Engineering, COFE. Corvallis. 14 p.
- Meng, C.H., 1984. A model for predicting logging machine productivity, *Canadian Journal of Forest Research*, 14: 191-194.
- Murray, A.T., 1998. Route planning for harvest site access, *Canadian Journal of Forest Research*, 28:1084-1087.
- Pentek, T., D. Picman, I. Potocnik, P. Dvorscak & H. Nevecerel, 2005. Analysis of an existing forest road network, *Croatian Journal of Forest Engineering*, 26(1): 39-50.
- Rogers, L., 2005. Automating Contour-Based Route Projection for Preliminary Forest Road Designs using GIS, MS thesis, University of Washington, 112 pp.
- Sobhani, H. & W.B. Staurt, 1991. Harvesting systems evaluation in Caspian Forest, *Journal of forest engineering*, 2(2): 21-24.
- Wang, J. & H. Haarla, 2002, Production analysis of an Excavator-Based harvester: A case study in finish forest operation, *Forest Product Journal*, 53(3): 85-90.
- Wang, J., 2003. A computer-based time study system for timber harvesting operations, *Forest Product Journal*, 53(3): 47-53.
- جورغلامی، مقداد و باریس مجنونیان، ۱۳۸۹. بررسی کارایی عملیات بینه‌بری با اره‌موتوری به‌دو روش گرده‌بینه کوتاه و بلند (مطالعه موردی: بخش نمخانه جنگل خیرود)، مجله جنگل ایران، ۲ (۱): ۱-۱۲.
- سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۹. راهنمای طرح، اجرا و بهره‌برداری راه‌های جنگلی، نشریه شماره ۱۳۱، معاونت امور فنی. دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، چاپ دوم، ۱۷۰ ص.
- فقهی، جهانگیر، ۱۳۶۸. ارزشیابی دو سیستم مکانیزه بهره‌برداری جنگل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۳۳ ص.
- گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، ۱۳۸۹. طرح جنگلداری بخش گرازبن جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نوشهر، دانشکده منابع طبیعی کرج. دانشگاه تهران، ۴۷۰ ص.
- نقدی، رامین، ۱۳۸۳. بررسی و مقایسه روش‌های بهره‌برداری تمام‌تنه و گرده‌بینه به‌منظور آرایه مدل مناسب شبکه جاده‌های جنگلی در حوزه نکاء، پایان‌نامه دکتری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۳۸ ص.
- Abdi, E., B. Majnounian, A. Darvishsefat, Z. Mashayekhi & J. Sessions, 2009. A GIS-MCE based model for forest road planning, *Journal of Forest Science- Prague*, 55(4): 171-176.
- Abeli, W.S., 1993. Comparing productivity and costs of three upgrading machines, *Journal of Forest Engineering*, 5(1): 33-39.
- Abeli, W.S., R. Ole Meiludie & M. Kachwele, 2000. Road Alignment and Gradient Issues in the Maintenance of Logging Roads in Tanzania, *Journal of Forest Engineering*, 11(2): 12-128.
- Akay, A., O. Eradas, J. Sessions, 2004. Determining productivity of mechanized harvesting machines, *Journal of Applied Sciences*, 4(1): 100-105.
- Bjorheden, R. & M.A. Thompson, 1995. An International Nomenclature for Forest Work Study, Paper presented at the XX IUFRO World Congress, Tampere, 6-12 August 1995, 16 p.
- Chung W., J. Stuckelberger, K. Aruga & T.W. Cundy, 2008. Forest road network design using a trade-off analysis between skidding and road construction, *Canadian Journal of Forest Research*, 38: 439-448.

Forest road planning considering road and skidding costs (Case study: Kheyroud Forest)

M. Jourgholami^{*1}, Ehsan Abdi¹, Woodam Chung² and B. Majnounian³

¹Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

²Associate Prof., College of Forestry and Conservation, University of Montana, USA

³Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 9 August 2010, Accepted: 12 January 2011)

Abstract

Hyrceanian forests are the only forests designated for commercial timber production in Iran. Ground-based skidding is the most common timber harvesting system used in these forests, but due to low road density (1-2m/ha), large parts of the forests are still inaccessible. To facilitate timber harvesting in the forest, it has been proposed to increase the road density up to 20 m/ha. The aim of this study was to incorporate the estimated skidding costs through a time study into existing transportation planning tool, NETWORK 2000 software package to help decision making on forest road building. This method was applied to Gorazbon district in Hyrcanian forests, where 244 links were built for analysis. The study used continuous time studies based on empirical data for this logging method. The resulted regression model is a function of skidding distance. The best solution found by NETWORK 2000 indicated that all proposed roads should be built to minimize the total skidding and road building costs.

Key words: Forest road network, Optimization, NETWORK 2000, Fixed costs, Variable costs.