

## بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس درختان و تخصیص بهینه آنها در صنایع تخته‌خرده‌چوب

نجیبه گیلانی‌پور<sup>۱</sup>، اکبر نجفی<sup>۲\*</sup>، رافائله اسپینلی<sup>۳</sup> و رامین نقدی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (gilanipoor.najibeh@yahoo.com)

۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (a.najafi@modares.ac.ir)

۳- دکتری مهندسی جنگل، موسسه سی‌ان‌آر ایوالزا، سستو فیورنتینو، ایتالیا. (spinelli@ivalsa.cnr.it)

۴- استاد، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. (naghdir@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۵/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۰۳

### چکیده

در سال‌های اخیر در سیاست کلی کشور، تصمیم بر توقف بهره‌برداری چوب از جنگل‌های صنعتی شمال استوار شده است. در حالی که همگام با افزایش جمعیت، تقاضا برای مصرف چوب در حال افزایش است؛ بنابراین لزوم یافتن منابع جایگزین برای تأمین مواد اولیه صنایع چوب بیش از پیش احساس می‌شود. در ایران هر ساله بقایای چوبی زیادی به دلیل عدم توسعه و ترویج روش‌های مناسب بهره‌برداری سوزانده شده و به هدر می‌رود. در این پژوهش بهره‌برداری و تخصیص بهینه بقایای چوبی حاصل از هرس درختان سیب در صنایع تخته‌خرده‌چوب بررسی شده است. بهره‌برداری بقایا در باغات سیب شهرستان دماوند با دستگاه خردکن و حمل آن تا کارخانه با کامیون انجام شد. ارزیابی روند کار و مقدار تولید و هزینه با روش زمان‌سنجی پیوسته و تخصیص بهینه با مدل برنامه‌ریزی خطی به روش حمل و نقل و با الگوریتم سیمپلکس انجام شده است. نتایج نشان داد که بیشترین زمان بهره‌برداری بقایا به ترتیب مربوط به جمع‌آوری و انتقال به دپو و خردکردن آن‌ها است و مقدار تولید بقایا ۱/۹۷ تن در هکتار و مقدار تولید چپس ۰/۱۶۰ تن در ساعت است. همچنین تخصیص بهینه ۴۰۰ هزار تن منابع حاصل از بهره‌برداری بقایای هرس درختان سیب با حداقل هزینه حمل (۹۵۰ میلیارد ریال)، ضمن حل معضل دفع ضایعات و کاهش آلودگی زیست‌محیطی سود سالانه حدود ۴۵۰ میلیارد ریال را برای کشور به ارمغان خواهد آورد و بدین ترتیب بخشی از کمبود مواد اولیه صنایع تخته‌خرده‌چوب جبران خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: زمان‌سنجی پیوسته، مقدار تولید، حداقل هزینه حمل، مدل برنامه‌ریزی خطی.

## مقدمه

مناسبی خواهد بود. سطح باغ‌های کشور (اعم از غیر بارور و بارور) حدود ۲/۸۵ میلیون هکتار است که بیشترین سطح بارور به ترتیب مربوط به پسته، انگور، سیب، خرما، پرتقال، بادام، گردو و دیگر محصولات است (Ahmadi et al., 2017). زارعین و باغداران برای دستیابی به محصولاتی باکیفیت و کمیت بالاتر، سالانه عملیات پرورشی و بهداشتی بر روی درختان انجام می‌دهند که یکی از این عملیات پرورشی تکمیلی هرس کردن است. بر اساس بررسی‌های انجام شده، حجم بقایای حاصل از هرس درختان با توجه به نوع گونه و شدت هرس بین ۰/۳ تا ۳/۵ تن در هکتار متغیر است (Nati et al., 2017, Magagnotti et al., 2013)؛ بنابراین در ایران هرساله بقایای زیادی در حدود بیش از سه میلیون تن در سطح باغات در نتیجه هرس درختان تولید می‌شود.

سیب از رایج‌ترین محصولات در مناطق معتدله است که بر اساس آمار سازمان خواربار جهانی حدود ۵ میلیون هکتار از اراضی در سراسر جهان تحت پوشش این محصول است (Magagnotti et al., 2013). در ایران، وجود ۲۱۷ هزار هکتار باغ سیب (Ahmadi et al., 2017) و لزوم هرس سالیانه این باغات بقایای لیگنوسلولزی قابل توجهی تولید می‌کند. اکنون باغات با حجم وسیعی از این ضایعات روبرو هستند که به دلیل عدم توسعه و ترویج روش‌های مناسب برای بهره‌برداری، اقدام به سوزاندن آن می‌کنند. سوزاندن بقایای هرس خسارت‌بارترین و غیراقتصادی‌ترین روش در مدیریت باغ به خصوص در خاک‌های فقیر و خشک ایران است (Hajnajari, 2016). امروزه رویکردهای فناورانه مختلفی برای افزایش ارزش افزوده این بقایا از طریق تبدیل آن‌ها به مواد بیولوژیکی همانند پانل‌های چوبی، سوخت زیستی، روغن زیستی و بیوگاز توسعه یافته است (Braghiroli and Passarini, 2020).

در کشور ایران از سال ۱۳۹۲ طرح‌ها و سیاست‌هایی همانند برنامه بهینه‌سازی، پایش و حفظ جنگل‌های کشور، طرح تنفس جنگل و طرح جایگزین مبنی بر کاهش یا توقف بهره‌برداری چوب از جنگل‌های صنعتی شمال کشور مطرح و در حال اجرا است. به طوری که هم‌اکنون برداشت از جنگل متوقف شده و برداشت‌های محدودی در موارد ضروری برای انتقال خطوط گاز، بازگشایی جاده و غیره و همچنین برداشت غیرمجاز و قاچاق چوب انجام می‌شود. در حالی که همگام با افزایش جمعیت، تقاضا برای مصرف چوب نیز در حال افزایش است (Lashkarbolouki et al., 2016). در نتیجه کمبود مواد اولیه به دلیل عدم توان دولت در واردات چوب در حجم بالای مورد نیاز کشور و ناتوانی عرصه‌های جنگلی در تأمین چوب مورد نیاز به دلایل اهمیت خدمات زیست‌محیطی جنگل‌ها یکی از معضلات جدی صنایع چوبی کشور است و این امر موجب شده است که در سال‌های اخیر بسیاری از صنایع کوچک به فعالیت‌های فصلی و موقت روی آورند و صنایع بزرگ با ظرفیت‌هایی به مراتب کمتر از ظرفیت اصلی کار کنند و بسیاری در آستانه تعطیلی موقت یا دائم قرار گیرند (Kalagari et al., 2017).

صنعت تخته خرده چوب قادر است طیف وسیعی از مواد لیگنوسلولزی چوبی و غیرچوبی را مورد تغذیه و مصرف قرار دهد. به طوری که امروزه در جهان با بهره‌برداری از ضایعات لیگنوسلولزی کشاورزی مانند باگاس و سرشاخه‌های پسته، تخته خرده چوب تولید می‌شود (Mohamadlu et al., 2015). از این رو جایگزین کردن مواد لیگنوسلولزی حاصل از هرس درختان، با توجه به جایگاه ایران در تولید محصولات باغی متنوع و حجم زیاد بقایای حاصل از هرس، راه‌حل

متصل به تراکتور کشاورزی در بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس درختان انار را مقایسه کرده‌اند. ماشین اول دارای واحدهای پیکاپ، خردکن و مخزن و ماشین دوم فقط دارای واحد خردکن بوده است. نتایج نشان داد که ماشین اول در خرد کردن بقایا نسبت به ماشین دوم مؤثرتر است، اما انرژی و هزینه بیشتری مصرف می‌کند.

بعد از بهره‌برداری بقایای هرس شده درختان سیب در باغات، منابع حاصله برای مصرف به‌عنوان مواد اولیه به کارخانه‌های تخته‌خرده چوب انتقال می‌یابند. مناطق پرورش گونه سیب در کشور گسترده بوده و مراکز مصرف در استان‌های شمالی کشور، اردبیل و کرمان استقرار یافته‌اند؛ بنابراین فواصل و هزینه حمل منابع حاصل از بهره‌برداری بقایا در ارزیابی مقدار هزینه و سود عملیات بسیار مهم است. از این رو در اینجا اهمیت مسئله توزیع و تخصیص بهینه کالا نمایان می‌شود. مسئله توزیع و تخصیص بهینه عبارت است از ارسال مقادیری کالا از چند مبدأ به نقاطی که متقاضی مصرف آن کالا هستند (مقصد)، به طوری که بالاترین سود یا کمترین هزینه را برای مدیریت پروژه به ارمغان آورد. برای تصمیم‌گیری در زمینه انتخاب خطوط تولید بهینه که کمترین هزینه یا بالاترین سود را به دنبال داشته باشد، می‌توان از انواع روش‌های پژوهش عملیاتی استفاده کرد. برنامه‌ریزی خطی استفاده از یک مدل ریاضی بوده و ابزاری است که می‌توان آن را در حل مسائل تخصیص منابع به‌کار برد (Lotfalian, 2011).

در این تحقیق، ارزیابی اقتصادی بهره‌برداری چوبی بقایای حاصل از هرس درختان سیب به‌عنوان مواد اولیه صنایع تخته‌خرده چوب و تخصیص بهینه این منابع با مدل برنامه‌ریزی خطی مورد بررسی قرار گرفته است. با برنامه‌ریزی صحیح و انجام پژوهش‌های مدون می‌توان بقایا حاصل از هرس درختان را به منابع باارزشی برای

شناسایی کاربرد مناسب برای بقایای حاصل از هرس درختان و داشتن برنامه‌ای مناسب و منسجم در زمینه آموزش و ترویج کشاورزان و باغداران (Hajjarian and Hosseinzadeh, 2016)، معضل موجود را به یک تولید متوازی (پهلوبه‌پهلوی) با یک درآمد بالقوه و یا کاهش هزینه مدیریت باغات تبدیل خواهد کرد و می‌توان این بقایا را جایگزین چوب‌های رایج برای کاربردهای صنعتی کرد (Spinelli et al, 2012).

برای بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس اقدامات مدیریتی صحیح و برآورد دقیق هزینه و تولید ضروری است؛ زیرا بر مقدار بازدهی و اقتصاد فرآیند بهره‌برداری و مزایای بالقوه بازیابی زیست‌توده تأثیر می‌گذارند (Dyjakon, 2019). برآورد تولید و هزینه بهره‌برداری بقایا، برای تصمیم‌گیری در مورد اینکه از این بقایا چوبی به‌عنوان منابع استفاده شود و یا اینکه به‌عنوان زباله تولیدشده از باغات و فضای سبز شهری دفع شود، بسیار ضروری است (Toupin et al., 2007). در جهان پژوهش‌هایی در زمینه بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس برای مصارف مختلف صنعتی انجام شده است. Magagnotti et al. (2013) فناوری‌های بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس انگور، سیب و گلابی را در ۱۷ مزرعه در شمال ایتالیا با چهار نوع هاروستر تجاری بررسی کرده‌اند. بازدهی بقایا بین حدود ۰/۷ تا ۹ تن ماده سبز از زی‌توده در هکتار و هزینه تولید هر تن ماده سبز حدود ۱۱ تا ۶۰ دلار بوده که بستگی به شرایط زمین و انتخاب نوع ماشین دارد. (Nati et al. (2017) عملکرد یک هاروستر جدید را برای بهره‌برداری بقایا چوبی باغات بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که مقدار تولید ۰/۷۷ تن ماده خشک در هکتار و ۰/۲۷ هکتار در ساعت کار برنامه‌ریزی‌شده و هزینه عملیات ۲/۲۷۵ دلار در هر هکتار بوده است. (Yigit and Canakci (2020) عملکرد فنی و اقتصادی دو ماشین خردکن مختلف

## ماشین‌های مورد تحقیق

بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس درختان شامل مراحل جمع‌آوری و انتقال بقایا از پای درختان تا دپو (فضای خالی موجود در هر باغ)، خرد کردن بقایا در دپو و انتقال چپیس حاصله به صنایع تخته‌خرده‌چوب است که در مرحله جمع‌آوری (انتقال بقایا از پای درختان به دپوی موجود در هر باغ) از روش دستی و در مرحله خردکردن بقایا از دستگاه خردکن (جدول ۱) به‌صورت ثابت در دپو استفاده شد. انتقال منابع حاصل از بهره‌برداری بقایا از محل تولید به مراکز مصرف (کارخانه‌های تخته‌خرده‌چوب) با کامیون دارای ظرفیت ۱۶ تن حمل بار انجام شد.

## بررسی کار و زمان‌سنجی

برای شناسایی و ارزیابی سیستم‌ها لازم است روند کار، مقدار تولید و هزینه ماشین‌آلات مورد بررسی قرار گیرد. در بررسی کار ابتدا تقسیم و تجزیه کار انجام شده و مراحل کار به بخش‌های مختلف تقسیم می‌شوند و هر بخش بدون اینکه فراموش شود یا از نظر دور بماند به‌دقت مورد بررسی قرار گرفته و نواقص و زوائد آن در حین اجرا رفع می‌شود (Sarikhani, 2001).

در این تحقیق بررسی کار به روش زمان‌سنجی پیوسته (Continuous Time Study) انجام شده و سپس مقدار تولید و هزینه عملیات محاسبه شد. در هنگام زمان‌سنجی اجزای مختلف کار، زمان‌های مربوط به تأخیرهای مختلف کاری و علل آن‌ها ثبت می‌شود. هر چرخه کار دستگاه خردکن شامل اجزای زیر است: جمع‌آوری بقایا در عرصه و انتقال به دپو به روش دستی توسط کارگر، استقرار دستگاه خردکن، ریختن بقایا به داخل دستگاه و خرد شدن چوب، بسته‌بندی، بارگیری به داخل ماشین حمل (کامیون)، حرکت از دپو تا کارخانه، تأخیرها. زمان کل از مجموع زمان مربوط به اجزای تشکیل‌دهنده هر سیکل به‌دست می‌آید. سپس از

صنایع تخته‌خرده‌چوب تبدیل کرده و در واقع جایگزین چوب‌های رایج جنگلی مورد مصرف این صنایع کرد. بدین ترتیب فشار برداشت از روی جنگل‌های صنعتی شمال کشور کاهش یافته و نیاز صنایع به‌وسیله منابع جایگزین تأمین خواهد شد. همچنین این بقایا به یک تولید جانبی تبدیل خواهد شد که با کسب درآمد بالقوه و یا کاهش هزینه مدیریت باغات همراه است. از طرف دیگر، معضل دفع این بقایا به‌عنوان زباله حل شده و از افزایش آلودگی محیط‌زیست در اثر سوزاندن حجم زیادی از بقایا جلوگیری می‌شود. علاوه بر آن، با توجه به اینکه دستگاه خردکن مورد استفاده تولید داخل کشور و مبتنی بر دانش بومی بوده، از این‌رو با توسعه کارآفرینی، اشتغال‌زایی و انتقال فناوری در بخش‌های مختلف در کشور همراه خواهد بود و با کاهش نیاز به واردات چوب، وابستگی‌های خارجی کاهش یافته و بر تولید داخلی کشور و تلاش برای خوداتکایی تأکید می‌شود.

## مواد و روش‌ها


## منطقه مورد تحقیق

استان‌های مهم تولیدکننده میوه‌های دانه‌دار (که ۸۸/۵ درصد آن سیب است) به‌ترتیب شامل آذربایجان غربی و شرقی، فارس، اصفهان، خراسان رضوی، اردبیل، زنجان، تهران و ... هستند (Ahmadi et al., 2017). در این تحقیق شهرستان دماوند در استان تهران به‌عنوان منطقه مورد تحقیق انتخاب شد. شهرستان دماوند در ۴۵ کیلومتری شرق تهران و در مختصات جغرافیایی  $35^{\circ} 20'$  تا  $35^{\circ} 55'$  عرض شمالی و  $51^{\circ} 53'$  تا  $53^{\circ} 51'$  طول شرقی واقع شده است. در این شهرستان ۷۵۰۰ هکتار از اراضی زیر کشت سیب بوده و مقدار تولید و صادرات سالانه سیب‌درختی به‌ترتیب ۱۷۰ و ۳/۵ هزار تن است.

نسبت زمان تأخیر به زمان کل درصد تأخیرها به دست می‌آید. در هر نوبت عملیات ممکن است سه نوع تأخیر به وجود بیاید که شامل تأخیر فنی، شخصی و اجرائی است. تأخیر فنی جزء زمان هر سیکل محسوب می‌شود؛ اما تأخیر شخصی و اجرائی جزء زمان اتلافی محسوب می‌شوند.

جدول ۱- مشخصات و تصویر دستگاه خردکن

Table 1. Specifications and image of the chipper

مشخصات دستگاه خردکن	واحد	تصویر دستگاه خردکن
Specifications of the chipper	Unit	Image of the chipper
مدل	KOREN K 17000	
موتور	بنزینی هوندا	
Engine	Honda petrol	
قدرت موتور	13	
Engine power	Hp	
ابعاد دستگاه	170*72*165	
Dimensions	سانتی متر cm	
وزن دستگاه	99	
Weight	کیلوگرم Kg	
مقدار مصرف سوخت	1.2	
Fuel consumption	لیتر بر ساعت L/h	
حداکثر طول تراشه	1.5 تا 3	
Maximum chip length	سانتی متر cm	
تعداد دور تیغه	1600 تا 2000	
Number of blade rounds	دور در دقیقه round per minute	
کشور سازنده	ایران	
Manufacturing Country	Iran	

#### تولید و هزینه

مقدار تولید از نسبت متوسط حجم یا وزن چپس تولید شده به زمان به دست می‌آید. هزینه کل شامل هزینه ماشین (دستگاه خردکن)، هزینه کارگری و هزینه حمل است که بر اساس روابط زیر محاسبه می‌شود (Ghaffariyan et al., 2013). قیمت هر دستگاه خردکن ۱۰۰ میلیون ریال و تعداد روز کاری ۲۰۰ روز در سال است. نرخ تنزیل ۱۶ درصد، نرخ تورم ۴/۴ درصد است (داده‌ها مربوط به تیرماه سال ۱۳۹۸ است). در

زمان انجام این تحقیق بقایای رایگان بوده و هزینه خرید مواد اولیه صفر در نظر گرفته شد.

۱- قیمت اسقاطی (S):  $r = r^1 - i$ ،  $d = \frac{1}{N} \times 100$

استهلاک،  $i$ : نرخ تورم،  $r^1$ : نرخ اسمی تنزیل،  $r$ : نرخ واقعی تنزیل،  $N$ : عمر مفید ماشین (۱۰ سال،  $t=10$ )

۲- ضریب بهره‌وری (U):  $U = (PH/SH) \times 100$ : ساعات کار مفید،  $SH$ : ساعات کار برنامه‌ریزی شده

۳- متوسط ارزش سرمایه‌گذاری (A):  $A = \frac{P - S}{N} + S$

$$A = \frac{P - S}{N} + S$$

۴- هزینه‌های ثابت (FC):

$$4-1 \text{ استهلاک (D): } D = a \cdot \frac{r \cdot (1+r)^t}{(-1) + (1+r)^t} \quad \alpha = P \cdot S$$

$$4-2 \text{ سود سرمایه بانکی (I): } I = A \times r$$

$$4-3 \text{ بیمه و مالیات (T): } T = (D+I) \times 10\%$$

مجموع هزینه‌های ثابت در ساعت‌های کار مفید

$$(TFC/PH) = (D+I+T)/PH$$

مجموع هزینه‌های ثابت در ساعات کار برنامه‌ریزی شده

$$(TFC/SH) = (D+I+T)/SH$$

۵- هزینه‌های جاری (متغیر) (OC):

۵-۱ هزینه نگهداری و تعمیرات با نرخ

$$(MR) (F=0.9) : MR = [(P-S)/(N \times PH)] \times F$$

۵-۲ سوخت، روغن و گریس در ساعت (FLC): بر

اساس اندازه‌گیری مصرف واقعی ماشین در حین کار

محاسبه و هزینه روغن برابر ۲۰ درصد هزینه سوخت

است.

۵-۳ هزینه تایر (t): ساعات عمر تایر/قیمت

$$\text{تایر} \times (1+r)$$

۵-۴ استهلاک تیغه (k): ساعات عمر تیغه/قیمت

$$\text{تیغه} \times (1+r)$$

مجموع هزینه‌های جاری:  $TOC = MR + FLC + t + k$

۶- هزینه‌های کارگری (LC): دستمزد کارگر و اپراتور

دستگاه خردکن و دستمزد کارگر برای جمع‌آوری و

حمل بقایا به دپو

$$7- \text{نرخ ماشین (MRH): } MRH/PH = TFC + TOC$$

تخصیص بهینه منابع

در این تحقیق برای فرموله کردن مسئله و به دست آوردن

جواب بهینه از مدل برنامه‌ریزی خطی به روش

حمل و نقل با الگوریتم سیمپلکس در محیط نرم افزار

Excell استفاده شده است. مدل حمل و نقل یکی از

روش‌های حل مسئله در برنامه‌ریزی خطی است که

همواره در آن تعدادی کالای همگن از چند مبدأ توزیع

به چند مقصد با مرکز تقاضا ارسال می‌شود. همچنین

ظرفیت‌های مراکز توزیع و مصرف مشخص بوده و در

بیشتر موارد مجموع کالای تولیدی یا مورد توزیع معادل

مجموع کالای مصرفی یا مورد تقاضا است. الگوریتم

سیمپلکس یک روش ریاضی برای حل مسائل

برنامه‌ریزی خطی است که با تکرار عملکرد بهینه‌سازی

اقدام به بیشینه یا کمینه کردن تابع هدف کرده و بدین

ترتیب به تابع هدف دست می‌یابد (Lotfalian, 2011).

در این پژوهش اجزای مدل برنامه‌ریزی خطی به صورت

زیر است:

متغیرهای تصمیم: در این تحقیق متغیر تصمیم که

با  $X_{ij}$  نشان داده شده، بیانگر مقدار چپس تولید شده

است که از مبدأ  $i$  (استان‌های پرورش دهنده سیب) به

مقصد  $j$  (استان‌های محل استقرار کارخانه‌ها) حمل می‌-

شود.

تابع هدف: هدف ترکیب موزونی از متغیرها برای

رسیدن به حد بهینه است. تابع هدف رابطه‌ای ریاضی

است که برحسب متغیرهای تصمیم نوشته شده و هدف

مسئله را بیان می‌کند و تصمیم‌گیرنده به کمک فن‌های

شناخته شده مختلف، تلاش در بیشینه کردن یا حداقل

کردن تابع هدف دارد. هدف اصلی در تحقیق حاضر و

به‌طور کلی در مسائل حمل و نقل، تخصیص بهینه کالای

هر مبدأ به مراکز مصرفی است که مجموع هزینه انتقال

کالاها در حداقل ممکن باشد؛ بنابراین به دنبال حداقل

کردن تابع هدف خواهیم بود (رابطه ۱).

$$\text{رابطه ۱) } \text{Min} Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

در این رابطه:  $X_{ij}$ : مقدار چپس حاصل از بهره‌برداری

بقایا است که از مبدأ  $i$  به مقصد  $j$  حمل می‌شود. این

مقدار حاصل ضرب مساحت باغات سیب (هکتار) در

هر استان در مقدار تولید چپس (تن در هکتار) است.

مقدار تولید چپس در طی تحقیق موردی در شهرستان

دماوند محاسبه‌شده و به دلیل محدودیت بودجه و عدم امکان انجام پژوهش در تمامی استان‌های مبدأ به کل کشور تعمیم داده شد.

محدودیت‌های عرضه از مبدأ  $i=1, \dots, m$  و  $S_i$  را به صورت رابطه (۲) می‌نویسند:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq S_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

مجموع کالای تولیدی در هر مبدأ  $i$  به مقصد  $j$  است که حاصل ضرب مسافت بین مبدأ و مقصد (کیلومتر) در هزینه حمل هر تن چپس در هر کیلومتر با کامیون (۳۵۰۰ ریال بر اساس نرخ اتحادیه باربری در تیرماه سال ۱۳۹۸) است.

محدودیت‌های تقاضا در مقصد  $j=1, \dots, n$  و  $d_j$  را به صورت رابطه (۳) می‌نویسند:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \geq d_j \quad \text{رابطه (۳)}$$

مجموع کالای دریافتی در هر مقصد  $j$

### نتایج

#### بررسی زمانی

نتایج زمان‌سنجی نشان داد که بیشترین زمان به ترتیب مربوط به جمع‌آوری و انتقال بقایا به دپو و خرد کردن آنها است (جدول ۲). همچنین بیشترین تأخیر مربوط به تأخیر فنی (۵۳ درصد) بوده است (جدول ۳).

محدودیت‌ها: یکسری محدودیت‌ها در ترکیب‌های متنوعی از متغیرها هستند و تعداد آنها متناسب با نوع مسئله است. قیود با علامت  $\leq$  یا  $\geq$  مشخص می‌شوند. در این تحقیق در مقدار عرضه و تقاضا محدودیت وجود دارد.

جدول ۲- نتایج زمان‌سنجی بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس درختان سیب

Table 2. Timing results of recovery of apple trees pruning residues

اجزای هر سیکل	زمان (دقیقه بر تن)	زمان (درصد)
Components of each cycle	Time (minutes per ton)	Time (%)
جمع‌آوری و انتقال بقایا Collection and transfer of residues	140.8	37.76
استقرار دستگاه Deploymen	10	2.68
خرد کردن Chipping	110	29.50
بسته‌بندی Packaging	42.8	11.48
بارگیری Loading	11.4	3.05
انتقال به کارخانه Transfer to factory	36	9.65
تأخیر فنی Technical delay	21.8	5.84
زمان کل Total time	372.8	100

جدول ۳- مقدار تأخیرها در هر نوبت کاری دستگاه خردکن در بهره‌برداری بقایای هرس درختان سیب

Table 3. The amount of delays in each cycle of chipper in recovery of apple trees pruning residues

تأخیرها	تأخیر فنی	تأخیر شخصی	تأخیر اجرایی	زمان کل تأخیرها
Delays	Technical delay	Personal delay	Organizational delay	Total delay time
زمان (دقیقه بر تن)	21.8	8.8	10	40.6
Time (minutes per ton)				
زمان (درصد)	53.69	21.67	24.63	100
Time (%)				

#### تولید و هزینه

چوب به صنایع ۴/۵ میلیون ریال است. در نهایت محاسبات نشان داد که سود بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس درختان سیب حدود ۲/۹۵ میلیون ریال و معادل ۶۵ درصد درآمد حاصل از فروش خرده چوب است (جدول ۴).

مقدار تولید بقایا در هر هکتار ۱/۹۷ تن بوده و مقدار تولید خرده چوب در هر ساعت بین ۰/۱۵۳ تا ۰/۱۶۰ تن با توجه به احتساب یا عدم احتساب تأخیرها متغیر است (جدول ۴). درآمد حاصل از فروش هر تن خرده

جدول ۴- محاسبه هزینه دستگاه خردکن در بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس درختان سیب

Table 4. Calculate the costs of chipping machine in recovery of apple trees pruning residues

هزینه (ریال)	نوع هزینه	هزینه‌ها
Cost (Rial)	Type of cost	Costs
18621097	ثابت Fixed	استهلاک ماشین Depreciation of machine
9520000	ثابت Fixed	سود سرمایه Capital profit
2814109	ثابت Fixed	بیمه و مالیات Insurance and tax
22110		مجموع هزینه ثابت در ساعات کار مفید Total fixed cost during useful working hours
19347		مجموع هزینه ثابت در ساعات برنامه‌ریزی شده Total fixed cost at scheduled hours
5785	متغیر Variable	تعمیرات Repairs
8750	متغیر Variable	سوخت Fuel
2295	متغیر Variable	تایر و تیغه Tire and blade
16831	متغیر Variable	مجموع هزینه جاری Total current cost
38942		نرخ ماشین Machine rates



جدول ۵- محاسبه مقدار تولید، هزینه و سود بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس درختان سیب

Table 5. Calculate the amount of production, cost and profit of recovery of apple trees pruning residues

مقادیر عددی Numerical values	واحد Unit	تولید و هزینه Production and cost
38942	ریال در ساعت Rials per hour	نرخ ماشین Machine rates
93750	ریال در ساعت Rials per hour	هزینه کارگر و اپراتور دستگاه خردکن Cost of labor and chipper operator
45000	ریال در ساعت Rials per hour	هزینه حمل بقایا به دپو Cost of transporting to the depot
177692	ریال در ساعت Rials per hour	هزینه سیستم System cost
1.97	تن در هکتار Tons per hectare	مقدار تولید Production rate
0.153	تن در ساعت Tons per hour	مقدار تولید چپس با احتساب تأخیر Chips production rate with delay
0.160	تن در ساعت Tons per hour	مقدار تولید چپس بدون احتساب تأخیر Chips production rate without delay
1159735	ریال در تن Rials per ton	هزینه تولید با احتساب تأخیر Cost of production with delay
1104062	ریال در تن Rials per ton	هزینه تولید بدون احتساب تأخیر Cost of production without delay
1541562	ریال در تن Rials per ton	هزینه کل Total cost
4500000	ریال در تن Rials per ton	درآمد Income
2958437	ریال در تن Rials per ton	سود Profit
65.74	درصد Percentage	حداکثر سود نسبت به درآمد Maximum profit to income

استقرار کارخانه‌ها) و مقدار چپس تولیدی (حاصل ضرب مساحت باغات در مقدار تولید (۱/۹۷ تن در هکتار)) و دریافتی ارائه شده است. در مدل برنامه-ریزی خطی، مقادیر هزینه حمل (Cij) به‌عنوان ضریب Xij وارد تابع هدف (مینیم کردن هزینه حمل) شده‌اند.

تخصیص بهینه منابع حاصل از بهره‌برداری بقایای هرس شده درختان سیب  
در جدول ۶ هزینه حمل هر تن منابع حاصل از بهره-برداری بقایای هرس شده درختان سیب با کامیون از مبدأ (استان‌های پرورش‌دهنده سیب) به مقصد (محل

جدول ۶- هزینه حمل (C<sub>ij</sub>) (ریال بر تن) و مقدار چپیس حاصل از بهره‌برداری بقایای هرس شده درختان سیب

Table 6. Transport cost (cij) (Rials per ton) and the amount of chips from recovery of apple trees pruning residues

مقدار چپیس تولیدی (تن در سال) Amount of produced chips (tons per year)	مساحت باغات سیب (هکتار) Area of apple orchards (hectares)	مقصد (j) Destination (j)					هزینه حمل C <sub>ij</sub> (ریال بر تن) Transport cost C <sub>ij</sub> (Rials per ton)	مبدأ Origin (i)
		کرمان Kerman	اردبیل Ardabil	گلستان Golestan	گیلان Gilan	مازندران Mazandaran		
18579.07	9431	3430000	2065000	1400000	1120000	700000	تهران Tehran	
20094	10200	4200000	910000	2905000	665000	2100000	زنجان Zanjan	
25152.96	12768	4900000	175000	3010000	910000	2226000	اردبیل Ardabil	
49037.24	24892	2380000	3045000	2870000	2240000	2502500	اصفهان Esfahan	
42291.96	2168	3150000	5180000	1680000	4270000	2569000	خراسان رضوی Khorasan Razavi	(i)
73569.65	37345	5250000	770000	3920000	1715000	3139500	آذربایجان شرقی East Azarbaijan	Origin (i)
120233.04	61032	5806500	1225000	4095000	2205000	3619000	آذربایجان غربی Western Azerbaijan	
59111.82	30006	1960000	4690000	4130000	3920000	4207000	فارس Fars	
408069	مجموع چپیس (تن در سال) Total chips (tons per year)	25000	50000	100000	75000	158069	مقدار چپیس دریافتی (تن در سال) Amount of received chips (tons per year)	

مساوی بودن مقدار تقاضا در هر استان محل استقرار کارخانه‌ها از مقدار چپیس دریافتی است. نتیجه مدل برنامه‌ریزی خطی به روش حمل‌ونقل با الگوریتم سیمپلکس که کمترین هزینه حمل را به دنبال دارد، در جدول (۸) ارائه شده و جواب بهینه (حداقل هزینه انتقال) معادل ۹۴۲,۸۵۶,۸۶۷,۹۹۵ ریال به دست آمده است.

برای اجرای مدل برنامه‌ریزی خطی ۱۳ محدودیت در نظر گرفته شد که هشت محدودیت مربوط به عرضه و پنج محدودیت مربوط به تقاضا است (جدول ۷). محدودیت‌های عرضه شامل کوچک‌تر یا مساوی بودن مقدار عرضه منابع از هر استان از مقدار چپیس تولیدی در آن استان و محدودیت‌های تقاضا شامل بزرگ‌تر یا

جدول ۷- توابع محدودیت عرضه و تقاضا

Table 7. Supply and demand restriction functions

محدودیت‌های تقاضا		محدودیت‌های عرضه	
Demand restrictions		Supply restrictions	
تابع محدودیت	مقصد (j)	تابع محدودیت	مبدأ (i)
Restriction function	Destination (j)	Restriction function	Origin (i)
$\sum X_{i1} \geq 158069$	مازندران Mazandaran	$\sum X_{1j} \leq 18579/07$	تهران Tehran
$\sum X_{i2} \geq 75000$	گیلان Gilan	$\sum X_{2j} \leq 20094$	زنجان Zanjan
$\sum X_{i3} \geq 100000$	گلستان Golestan	$\sum X_{3j} \leq 25152/96$	اردبیل Ardabil
$\sum X_{i4} \geq 50000$	اردبیل Ardabil	$\sum X_{4j} \leq 49037/24$	اصفهان Esfahan
$\sum X_{i5} \geq 25000$	کرمان Kerman	$\sum X_{5j} \leq 42291/96$	خراسان رضوی Khorasan Razavi
		$\sum X_{6j} \leq 73569/65$	آذربایجان شرقی East Azarbaijan
		$\sum X_{7j} \leq 120233/04$	آذربایجان غربی Western Azarbaijan
		$\sum X_{8j} \leq 59111/82$	فارس Fars

جدول ۸- تخصیص بهینه منابع حاصل از بهره‌برداری بقایای هرس شده درختان سیب

Table 8. Optimal allocation of resources from recovery of apple trees pruning residues

مقصد (j)					مقدار چپیس (X <sub>ij</sub> ) (تن در سال)	مبدأ (i)
کرمان	اردبیل	گلستان	گیلان	مازندران		
Kerman	Ardabil	Golestan	Gilan	Mazandaran		
0	0	0	0	18579.07		تهران Tehran
0	0	0	20094	0		زنجان Zanjan
0	25152.69	0	0	0		اردبیل Ardabil
0	0	23596.96	0	25440.28		اصفهان Esfahan
0	0	42291.96	0	0		خراسان رضوی Khorasan Razavi
0	0	0	54906	18663.65		آذربایجان شرقی East Azarbaijan
0	24847.04	0	0	95386		آذربایجان غربی Western Azarbaijan
25000	0	34111.08	0	0		فارس Fars

صنایع چوبی محاسبه و در جدول زیر ارائه شده است. هزینه کل شامل حداقل هزینه حمل (جواب بهینه) و هزینه تولید بدون تأخیر است. همان‌طور که نشان داده شده است بهره‌برداری چوبی بقایای حاصل از هرس درختان سیب در هشت استان مهم پرورش‌دهنده این محصول با مقدار سود سالانه ۴۴۲ میلیارد ریال در کشور همراه خواهد بود.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مقدار کل چپیس تولیدی در ۸ استان برابر با ۴۰۸۰۶۹ تن در سال، هزینه تولید هر تن چپیس ۱۱۰۴۰۶۲ ریال و درآمد حاصل از فروش هر تن چپیس معادل ۴۵۰۰۰۰۰ ریال است. با توجه به مقادیر فوق و جواب بهینه حاصل از برنامه-ریزی خطی، هزینه، درآمد و سود حاصل از بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس سیب و انتقال آن به کارخانه‌های

جدول ۹- هزینه و سود کل تخصیص منابع حاصل از بهره‌برداری بقایای هرس شده درختان سیب (میلیارد ریال)  
Table 9. Cost and total benefit of allocating resources from the recovery of apple trees pruning residues (Billion rials)

سود کل	درآمد کل	هزینه کل	هزینه تولید	حداقل هزینه حمل
Total profit	Total income	Total cost	Cost of production	Minimum transport cost
442	1836	1393	450	942

صنایع چوبی باشد. (Kargarfard et al. (2006) با بررسی استفاده از بقایای چوبی حاصل از هرس درختان سیب در تولید تخته‌خرده‌چوب نشان داده‌اند که تخته-خرده‌چوب ساخته‌شده از مخلوط چپیس سرشاخه سیب با صنوبر (۵۰ به ۵۰) مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته بالاتری نسبت به تخته‌های ساخته‌شده از سرشاخه درخت سیب دارد. همچنین افزایش زمان پرس تأثیر مثبت بر چسبندگی داخلی نمونه‌های ساخته‌شده داشته است. (Enayati et al. (2008) با بررسی نسبت‌های مختلف چپیس سرشاخه سیب با خرده‌چوب صنعتی در ساخت تخته‌خرده‌چوب نشان داده‌اند که وجود خرده‌چوب سیب در ساختار تخته‌ها بر روی اغلب خواص فیزیکی و مکانیکی آن‌ها شامل مدول الاستیسیته، مقاومت خمشی، چسبندگی داخلی و مقدار جذب آب بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب تأثیر معنی‌داری داشته است. به‌طوری‌که با افزایش سهم خرده‌چوب سیب در مخلوط خرده‌چوب‌های مصرفی ویژگی‌های فوق بهبود پیدا کردند. Shayanfar and Refighi (2015) با بررسی امکان استفاده از

## بحث

امروزه به‌دلیل کاهش سطح جنگل‌های تجاری کشور و رعایت برخی مسائل زیست‌محیطی بهره‌برداری از جنگل‌ها متوقف شده است و از سوی دیگر رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای تخته‌خرده‌چوب، موجب افزایش تولید این محصول شده است. به‌طوری‌که مقدار تولید تخته‌خرده‌چوب از ۳۳۳ هزار مترمکعب در سال ۱۳۷۵ به ۹۲۰ هزار مترمکعب در سال ۱۳۹۴ افزایش یافته است (Esfandiyari, 2015)؛ بنابراین تأمین مواد اولیه برای صنعت تخته‌خرده‌چوب به مشکل جدی تبدیل شده است. تخته‌خرده‌چوب فرآورده‌ای است که از طیف وسیعی از مواد لیگنوسلولزی چوبی و غیرچوبی همراه با رزین (چسب) تحت شرایط پرس ساخته می‌شود. در کشور ما با توجه به سطح وسیع باغات (حدود ۲/۸۵ میلیون هکتار) و لزوم هرس سالانه درختان، حجم عظیمی از بقایای چوبی تولید می‌شود که پژوهش‌هایی در زمینه کاربرد این بقایا در ساخت تخته‌خرده‌چوب و کیفیت محصول تولیدی در کشور انجام شده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای جبران بخشی از کمبود مواد اولیه

باغات، موجب کاهش هزینه و افزایش سود مدیریت باغ می‌شود؛ بنابراین در این تحقیق قیمت خرید بقایا رایگان بوده است. مقدار تولید بقایا در هر هکتار معادل ۱/۹۷ تن و در هر ساعت بین ۰/۱۵۳ تا ۰/۱۶۰ تن است. درآمد حاصل از فروش هر تن خرده‌چوب ۴/۵ میلیون ریال و مقدار سود بهره‌برداری بقایا حدود ۲/۹۵ میلیون ریال به ازای هر تن است که معادل ۶۵ درصد درآمد است؛ بنابراین نتایج نشان داد که بهره‌برداری بقایا با استفاده از دستگاه خردکن به‌صورت ثابت در دیو و انتقال منابع حاصله به کارخانه‌ها با کامیون از نظر مقدار تولید و درآمد به‌صرفه است.

تخصیص بهینه منابع حاصل از هرس درختان سیب به صنایع چوبی با مدل برنامه‌ریزی خطی نشان داد که مینیمم هزینه حمل بیش از ۴۰۰ هزار تن خرده‌چوب از مبدأ به مقصد در حالتی اتفاق می‌افتد که منابع تولیدشده در استان تهران به کارخانه‌های مازندران، منابع تولیدشده در استان زنجان به گیلان و منابع استان خراسان رضوی به گلستان انتقال یابد و منابع تولیدشده در استان اردبیل در صنایع تخته‌خرده‌چوب همان استان مصرف شده و محصولات اصفهان به مازندران و گلستان عرضه شود. همچنین تولیدات آذربایجان غربی و شرقی به کارخانه‌های اردبیل، مازندران و گیلان منتقل شود و تولیدات استان فارس در اختیار صنایع استان کرمان و گلستان قرار گیرد. در این حالت کمترین هزینه حمل منابع حاصل از هرس درختان سیب از هشت استان مهم پرورش این گونه به صنایع تخته‌خرده‌چوب حدود ۹۵۰ میلیارد ریال خواهد بود و با احتساب درآمد حدود ۱۸۰۰ میلیارد ریالی این پروژه، سود سالانه معادل حدود ۴۵۰ میلیارد ریال در کشور حاصل خواهد شد. لازم به ذکر است که این پژوهش تنها به بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس درختان سیب پرداخته است که حدود ۹ درصد از سطح باغ‌های کشور را در برمی‌گیرد.

سرشاخه‌های هرس‌شده به‌عنوان ماده اولیه در صنعت تخته‌خرده‌چوب نشان داده‌اند که با تغییر مقدار رزین، زمان پرس، ترکیب خرده‌چوب حاصل از هرس با خرده‌چوب صنعتی و دیگر متغیرهای مؤثر در ساخت تخته‌خرده‌چوب می‌توان به کیفیت مطلوب و استاندارد دست یافت.

در تحقیق حاضر ارزیابی اقتصادی بهره‌برداری بقایای چوبی حاصل از هرس درختان سیب و تخصیص بهینه منابع به صنایع تخته‌خرده‌چوب بررسی شده است. نتایج نشان داد که بیشترین زمان در بررسی روند بهره‌برداری مربوط به مرحله جمع‌آوری و انتقال بقایا از پای درختان به دیوی موجود در هر باغ است. در این مرحله به دلیل اینکه امکان عبور ماشین‌آلات از لابه‌لای درختان در تمامی نقاط باغ وجود ندارد، انتقال بقایا به روش دستی انجام گرفته و زمان انجام عملیات افزایش یافته است. بازدهی دستگاه خردکن حدود ۹۰ درصد بوده و ۱۰ درصد مابقی (۴۰/۶ دقیقه بر تن) مربوط به تأخیرها بوده است که تأخیر فنی ۵۳ درصد از مجموع تأخیرها را شامل می‌شود. تأخیر فنی عموماً در اثر باز شدن اتصالات دستگاه، ضعیف و کند شدن تیغه‌ها و تعویض آن‌ها، گیرکردن بقایا لابه‌لای تیغه‌ها، شل شدن تسمه و ... حادث شده است. پژوهش Spinelli and Visser (2009) در مورد مقدار تولید و تأخیرها در عملیات چپس کردن چوب با ۳۶ ماشین خردکن متفاوت نشان داد که بازدهی متوسط خردکن‌ها بدون در نظر گرفتن نوع عملیات ۷۳/۸ درصد بوده و دوسوم مجموع زمان تأخیرها مربوط به تأخیر سازمانی هستند. بقایای حاصل از هرس درختان (با قطر کمتر از ۵ سانتی‌متر) به‌عنوان دورریز و ضایعات در باغات محسوب شده و هرساله باغداران هزینه خروج این بقایا از باغات و سوزاندن آن را متقبل می‌شوند. بهره‌برداری از بقایا و پرداخت هزینه جمع‌آوری و خروج آن‌ها از

بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس درختان علاوه بر فواید ذکرشده، در کاهش مقدار برداشت غیرمجاز چوب از جنگل‌های کشور و حفاظت از این جنگل بسیار مؤثر است. در سال‌های اخیر بر اساس طرح‌های جدید سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور بهره‌برداری چوب از جنگل‌های صنعتی شمال کشور متوقف شده است؛ اما برداشت غیرمجاز و قاچاق چوب همچنان یکی از بزرگ‌ترین معضلات بخش مدیریتی و حفاظتی این عرصه‌ها است و این چوب آلات عموماً در صنایع تخته‌خرده‌چوب مصرف می‌شوند؛ بنابراین چنانچه بخشی از کمبود مواد اولیه کارخانه‌ها از طریق منابع لیگنوسلولزی جدید داخلی مانند بقایای حاصل از هرس درختان تأمین شود، معضل قاچاق و برداشت غیرمجاز چوب تا حدود زیادی حل شده و این امر به‌طور غیرمستقیم حفاظت از عرصه‌های جنگلی را به‌همراه خواهد داشت.

حال اگر بقایای حاصل از هرس دیگر گونه‌های مشمر و غیرمشمر باغی را در نظر بگیریم، رقم مربوط به سود اقتصادی بسیار بیشتر خواهد بود و علاوه بر آن اشتغال‌زایی برای جوانان و کشاورزان و توسعه روستایی را به‌همراه داشته و مواد اولیه پایدار صنایع تخته‌خرده‌چوب در مناطق مختلف کشور تأمین خواهد شد. امروزه عمدتاً این بقایا در سطح کشور در حجم زیادی سوزانده شده و یا به‌عنوان زباله دفع می‌شود. دفع این منابع به‌عنوان ضایعات در مکان‌های تعیین‌شده برای دفن زباله، با توجه به اینکه کشور ما با مشکلات عدیده‌ای در زمینه دفع زباله مواجه است، سطح زیادی از این مکان‌ها را اشغال کرده و این منابع ارزشمند از چرخه تولید و بهره‌برداری خارج می‌شود؛ بنابراین بهره‌برداری بقایای حاصل از هرس، معضل دفع زباله را برای کشاورزان، باغداران و شهرداری‌ها حل کرده و از سوزاندن حجم عظیمی از منابع و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی جلوگیری خواهد شد.

## References

- Ahmadi, K.; Gholizadeh, H.; Ebadzadeh, H.; Hatami, F.; Hosseinpour, R.; Kazemifard, R.; Abdshah, H., Agriculture-Iran-Statistics. 2017.
- Braghiroli, F. L.; Passarini, L., Valorization of biomass residues from forest operations and wood manufacturing presents a wide range of sustainable and innovative possibilities. *Current Forestry Reports* **2020**, 6 (2), 172-183.
- Dyjakon, A., The influence of apple orchard management on energy performance and pruned biomass harvesting for energetic applications. *Energies* **2019**, 12 (4), 632.
- Enayati, A. A.; Usefi, H.; Rasoli, D., Application of Apple pruning on particleboard manufacturing. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* **2008**, 23 (1), 63-73.
- Esfandiyari, A. M., Comparison of production and consumption of particle board and MDF in different countries of the world and Iran. *Wood industries, furniture and paper* **2015**, 13 (97), 38-40 (In Persian).
- Ghaffariyan, M. R.; Spinelli, R.; Brown, M., A model to predict productivity of different chipping operations. *Southern Forests: A Journal of Forest Science* **2013**, 75 (3), 129-136.
- Hajjarian, M.; Hosseinzadeh, O., The role of educational and promotional activities on the performance of poplar farmers in Urmia, *Forest Research and Development* **2016**, 1 (3), 241-255 (In Persian).
- Kalagari, M.; Bagheri R., Ghasemi, R., Technical instructions for planting, holding and harvesting poplar, *Ministry of Jihad Agriculture* **2017**, 1-6 (In Persian).
- Kargarfard, A.; Hosseinzadeh A., Nourbakhsh, A., Utilization of apple wood prunings in particleboard production, *Pajouhesh & Sazandegi* **2006**, 73, 27-32 (In Persian).
- Lashkarbolouki, E.; Pourtahmasi, K., Oladi, R., Kalagari R., Alizadeh, H., Recognition and rating of effecting indexes on the consumption of pulp and paper industry production from different poplar plantation sites in Iran, *Iranian Journal of Wood and*

- Paper Industries* **2016**, 7 (3), 425-436 (In Persian).
- Lotfalian, M., 2011. Wood Transportation, AIJ-Man Graphics Publications, pp. 273-305 (In Persian).
- Magagnotti, N.; Pari, L.; Picchi, G.; Spinelli, R., Technology alternatives for tapping the pruning residue resource. *Bioresource technology* **2013**, 128, 697-702.
- Mohamadlu, A. R.; Ghalandari, E., Ebadi, B., Evaluation of the use of tree pruning and lignocellulosic waste in the preparation of wooden panels, Proceedinds of 1st National Conference on Wood & Lignocellulosic Products, Gonbad Qabus, Iran, 2015; 8p (In Persian).
- Nati, C.; Boschiero, M.; Picchi, G.; Mastrolonardo, G.; Kelderer, M.; Zerbe, S., Energy performance of a new biomass harvester for recovery of orchard wood wastes as alternative to mulching. *Renewable Energy* **2018**, 124, 121-128.
- Sarikhani, N. A., Forest Logging, *University of Tehran Press*, 2001. 728p (In Persian).
- Shayanfar, K.; Refighi, A., Investigating the possibility of using pruned branches as raw material in the particle board industry. Proceedinds of 1st National Conference on Wood & Lignocellulosic Products, Gonbad Qabus, Iran, 2015; 8p (In Persian).
- Spinelli, R.; Nati, C.; Pari, L.; Mescalchin, E.; Magagnotti, N., Production and quality of biomass fuels from mechanized collection and processing of vineyard pruning residues. *Applied Energy* **2012**, 89 (1), 374-379.
- Spinelli, R.; Visser, R. J., Analyzing and estimating delays in wood chipping operations. *biomass and bioenergy* **2009**, 33 (3), 429-433.
- Toupin, D.; LeBel, L.; Dubeau, D.; Imbeau, D.; Bouthillier, L., Measuring the productivity and physical workload of brushcutters within the context of a production-based pay system. *Forest Policy and Economics* **2007**, 9 (8), 1046-1055.
- Yiğit, M.; Çanakci, M., Comparison of the technical and economic performances of two different shredders on pomegranate pruning residues. *Spanish journal of agricultural research* **2020**, 18 (1), e0202.

## Exploitation of tree pruning residues and their optimal allocation in the particle board industry

N. Gilanipoor<sup>1</sup>, A. Najafi<sup>\*2</sup>, R. Spinelli<sup>3</sup> and R. Naghdi<sup>4</sup>

1- Phd. Student of Forest Science, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, I. R. Iran. (gilanipoor.najibeh@yahoo.com)

2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, I. R. Iran. (a.najafi@modares.ac.ir)

3- Ph.D. of Forest Engineering, CNR IVALSA, Sesto Fiorentino (FI), Italy. (spinelli@ivalsa.cnr.it)

4- Professor, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, I. R. Iran. (naghdir@yahoo.com)

Received: 04.08.2020      Accepted: 24.11.2020

### Abstract

In recent years, the general policy of Iran has been based on the decision to stop the exploitation of wood from the north industrial forests. While the population is increasing, the demand for wood is increasing. Therefore, it's necessary to find alternative sources to supply raw materials for the wood industry. In Iran, every year, a lot of wood waste is burned and wasted due to lack of development and promotion of appropriate exploitation methods. In present study the exploitation and optimal allocation of wood residues from pruning apple trees as raw material for the particle board industry has been investigated. Exploitation was carried out in apple orchards of Damavand city with a chipper and transported to factories by truck. Evaluations of the work process and the productivity and cost have been done with continuous timing method and optimal allocation have been made with the linear programming model by transportation method and simplex algorithm. The results showed that the longest recovery time of residues is related to collection and transfer to the depot and chipping them, respectively and the production of residues is 1.97 tons per hectare and the production of chips is 0.160 tons per hour. Also, the optimal allocation of 400,000 tons of resources from the exploitation of pruning residues of apple trees with a minimum cost of transportation (950 billion rials), while solving the problem of waste disposal and reducing environmental pollution will bring an annual profit of about 450 billion rials for the country and will be compensated part of the shortage of raw materials for the particle board industry.

**Keywords:** Continuous time study, Production rate, Minimum transport cost, linear programming model.

---

\* Corresponding author

Tel: +989112144421