



دانشگاه گوارا

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸

۱-۱۵

<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwfst.2019.15729.1773

ارزیابی اثر برخی از مشخصه‌های مؤثر بر میزان مصرف انرژی در خردکن استوانه‌ای

محمد آقاخانی^۱، * ابوالقاسم خزاعیان^۲، علی رفیعی^۳ و فریدر شولز^۳

^۱ دانشجوی دکتری فراورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،

^۲ دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،

^۳ استاد گروه تکنولوژی چوب دانشگاه علوم کاربردی روزنهایم، آلمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷

چکیده

سابقه و هدف: خرد کردن چوب مهم‌ترین مرحله در کارخانجات تولید اوراق فشرده چوبی می‌باشد. تولید چپیس با کیفیت از نقطه‌نظر ابعاد و اندازه مناسب، نه تنها کیفیت بالای محصول نهایی را تضمین می‌کند، بلکه باعث کاهش زمان تولید در دستگاه‌های ثانوی و نهایتاً کاهش میزان انرژی مصرفی می‌گردد. این مطالعه در دانشگاه علوم کاربردی روزنهایم (آلمان) با هدف ارزیابی مشخصه‌های تأثیرگذار بر میزان مصرف انرژی در خردکن استوانه‌ای انجام گرفت. به همین منظور اثر گونه چوب، سرعت برش، رطوبت و ابعاد چوب در خردکن استوانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. به منظور ارزیابی دقیق مصرف انرژی در هر یک از شرایط آزمون‌های میزان وزن برابر چوب به چپیس تبدیل گردید. هم‌چنین ضخامت چپیس در تمامی آزمون‌ها ثابت در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از دو گونه صنوبر^۱ و بلوط^۲ استفاده شد. ابتدا نمونه‌ها به کمک اهر نواری مدل ESTERER Model EB 1400 به الوارهایی با ابعاد ۴×۸ سانتی‌متر و ۸×۸ سانتی‌متر تبدیل شدند. سپس نمونه‌ها درون خشک‌کن LAUBER TROCKNUNGSTECHNIK مجهز به سیستم خودکار در دو سطح رطوبتی ۱۸ و ۴۰ درصد خشک شدند. بعد از آن نمونه‌ها مطابق با جدول آزمایش‌ها که بر اساس آزمون فاکتوریل و با وزن برابر تهیه شده بود، به خردکن تغذیه شدند. با تنظیم سرعت گردش محور در خردکن استوانه‌ای، سرعت برش در سه سطح ۱۶، ۲۰ و ۲۴ متر بر ثانیه مدیریت شد. میزان انرژی مصرفی حین فرآیند به وسیله دستگاه چند کاناله اندازه‌گیری مصرف انرژی^۳ اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، نتایج نشان داد، فاکتورهای گونه، رطوبت و سرعت برش بر میزان انرژی مصرفی در خردکن استوانه‌ای در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأثیرگذار بود. نمودار اثرات مستقل نشان داد که گونه بلوط نسبت به گونه صنوبر، رطوبت ۴۰ درصد نسبت به ۱۸ درصد و سرعت برش ۲۰ متر بر ثانیه نسبت به ۱۶ و ۲۴ واجد مصرف انرژی کم‌تری هستند. نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد اثر مستقل ضخامت بر مصرف انرژی معنی‌دار نمی‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان داد که

* مسئول مکاتبه: khazaeian@gau.ac.ir

- 1- Poplus termula
- 2- Quercus robur
- 3- Multi-channel precision power meter

سرعت برش بیش‌ترین تأثیر مستقل را بر مصرف انرژی داشته است و رطوبت کم‌ترین اثر مستقل را در سطح اطمینان ۹۵ درصد داشته است.

نتیجه‌گیری: با بررسی نتایج اثرات متقابل مشخص شد، اگرچه ضخامت مستقلاً اثر معنی‌داری بر مصرف انرژی فرآیند نداشته است، اما در تقابل با سایر پارامترها مؤثر واقع شده است. در گونه بلوط با رطوبت ۴۰ درصد، ضخامت ۴ سانتی‌متر در سرعت برش ۲۰ متر بر ثانیه کم‌ترین مصرفی را داشته است، درحالی‌که در گونه صنوبر، سطح رطوبتی ۱۸ درصد و ضخامت ۸ سانتی‌متر با سرعت برش ۲۰ متر ثانیه کم‌ترین مصرف انرژی را داشته است. این تفاوت در مصرف انرژی می‌تواند ناشی از تفاوت در بافت و رفتار ویسکوالاستیک دو گونه در برابر نیروهای برشی باشد. احتمالاً در گونه صنوبر افزایش سطح رطوبتی و کاهش ضخامت به ۴ سانتی‌متر میزان تغییر شکل چوب را در برابر نیروی برشی افزایش داده و همین رفتار سبب صرف انرژی بیش‌تر در برش می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انرژی مصرفی، بلوط، خردکن استوانه‌ای، سرعت برش، صنوبر

مقدمه

ماشین‌کاری چوب به‌عنوان فرآیندی که ماده اولیه چوبی را به محصولی با ارزش افزوده بالا تبدیل می‌کند، شناخته می‌شود. در طی این تبدیل در فرآیندهای مختلف ماشین‌کاری، ویژگی‌های هندسی ماده چوبی و یا ویژگی‌های سطح آن و یا هر دو مشخصه به‌طور هم‌زمان می‌تواند دستخوش تغییر گردد. منحصر به فرد بودن ویژگی‌های چوب، باعث شده است تا فرآیندهای ماشین‌کاری آن نیز با سایر مواد مهندسی متفاوت باشد (۹). نخستین گام در صنایع اوراق فشرده چوبی، تبدیل مکانیکی مواد اولیه چوبی به خرده چوب می‌باشد. این مرحله از دو منظر دارای اهمیت می‌باشد. از یک‌سو ابعاد و شکل ذرات در کیفیت و روند تولید اوراق فشرده اثرگذار است و از سوی دیگر کیفیت و اندازه ذرات تحت‌تأثیر دانسیته و رطوبت گونه‌ها و شرایط برش می‌باشد که این پارامترها نیز بر میزان انرژی مصرفی تأثیرگذارند.

مصرف انرژی یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در تولیدات صنعتی به‌شمار می‌رود و افزایش روزافزون سهم انرژی بر قیمت تمام‌شده محصول بر اهمیت این موضوع می‌افزاید. در صنایع چوب عمده انرژی صرف

برش‌کاری و تبدیل مکانیکی، تهیه چپیس، پوست‌کنی، حمل و انتقال ذرات چوب و خشک‌کردن می‌شود (۶). در صنعت تخته‌خرده‌چوب و ام‌دی اف به‌منظور تبدیل مکانیکی چوب‌آلات انواع گوناگونی از خردکن‌ها مانند خردکن استوانه‌ای^۱ و آسیاب تیغه‌ای^۲ استفاده می‌شود. اساس عملیات به این صورت می‌باشد که گرده‌بینه در تماس با تیغه در حال گردش می‌باشد و عملیات برش و تراشه‌برداری صورت می‌گیرد (۴). امروزه با توجه به کاهش سطح منابع جنگلی قابل برداشت و لزوم بهره‌گیری از منابع چوبی باغی و سرشاخه با قطر کم، خردکن استوانه‌ای رواج بیش‌تری یافته‌اند. در برخی از خردکن‌های استوانه‌ای تیغه‌ها در عرض استوانه قرار می‌گیرند و عموماً استوانه حامل یک تا چهار تیغه می‌باشد. تغذیه به‌صورت پیوسته انجام می‌شود و برش عمدتاً در مقطع عرضی انجام می‌شود. مد یا الگوی برش از نوع ۹۰-۹۰ می‌باشد. در برخی دیگر از این نوع خردکن تعداد تیغه‌ها بیش‌تر است و تا ۶۰ عدد و بیش‌تر نیز می‌رسد و برش‌ها و تشکیل چپیس در امتداد محور

1- Drum chipper
2- Knife ring flaker

عموماً فاکتورهای درگیر در فرآیند ماشین کاری عبارتند از:

فاکتورهای مربوط به ابزار برش: شکل و فرم دندانه‌ها و زوایای برش تیغه

فاکتورهای شرایط ماشین کاری: شکاف برش، پهنای برش، عمق برش، ضخامت تراشه، سرعت تغذیه، سرعت برش، مد برش

فاکتورهای مرتبط با چوب: گونه چوبی، دانسیته، رطوبت، پهنای حلقه رویش، درصد چوب بهاره به تابستانه، جهت الیاف، درصد مواد استخراجی، دمای چوب، خواص مکانیکی چوب (۲).

از آن جا که بحث مصرف انرژی و موضوع کاهش هزینه‌های تولید هر روزه مهم و مهم‌تر می‌شود، بنابراین حداقل‌سازی مصرف انرژی دارای اهمیت بیش‌تری می‌شود. در فرآیندهای تولید با مواد متفاوت کاهش انرژی مصرفی، سبب افزایش تولید و کاهش اثرات زیست‌محیطی می‌شود. عمده تلاش‌ها در قرن اخیر به‌منظور این هدف یعنی افزایش راندمان انرژی بوده است (۱۴).

در ادامه به برخی پژوهش‌ها در زمینه مصرف انرژی و ماشین کاری اشاره شده است.

مرادپور و همکاران (۲۰۱۶)، در بررسی تأثیر بافت چوب راش و بلوط و فاکتورهای برش در آره نواری بر نیروهای برش و کیفیت سطح دریافتند مقدار نیروهای موازی و نرمال تحت تأثیر پارامترهای متغیر در پژوهش می‌باشد. با افزایش رطوبت تا نقطه اشباع الیاف نیروی اصلی برش کاهش یافت. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار نیروی برش به ترتیب برای جهت‌های ۹۰-۹۰ و ۰-۹۰ به دست آمد. همچنین با افزایش نسبت سرعت برش به سرعت تغذیه مقدار نیروی موازی برش کاهش یافت. نیروی نرمال برش برای اکثر جهت‌های برش منفی مشاهده شد در این

طولی گرده‌بینه صورت می‌گیرد. مد برش ۰-۹۰ می‌باشد. در این نوع چپرها تغذیه به صورت پیوسته نمی‌باشد، ابتدا میز تغذیه بارگیری شده سپس استوانه دوار با کمک جک‌های هیدرولیک در جهت عمود بالا رفته و سپس به پایین حرکت کرده و عمل خرد کردن چوب با انجام برش‌های مماسی انجام می‌شود. تغییر در سرعت تغذیه و سرعت برش سبب تغییر در ضخامت و کیفیت چپس تولیدی می‌شود.

از چپس تولیدی به‌عنوان ماده اولیه در صنایع شیمیایی برای تولید سلولز و کاغذ، در فرآیند تولید تخته‌خردچوب و تخته فیبر و در صنایع به‌منظور تولید انرژی استفاده می‌شود (۴). در آسیاب تیغه‌ای چپس‌ها با تغذیه مرکزی توسط پره‌های دوار در اثر نیروی گریز از مرکز به اطراف پرت شده با رینگ حامل تیغه برخورد کرده و معمولاً در راستای موازی الیاف (۰-۹۰ یا ۹۰-۰) برش می‌خورند. خردچوب بعد از خروج از انواع خردکن وارد خشک‌کن می‌شوند. سپس خردچوب‌ها وارد مرحله چسب‌زنی می‌شوند. در تولید تخته‌خردچوب سه لایه چپس و خردچوب‌های تولیدی پس از خشک‌کن وارد الک شده و از خردچوب ریز جهت لایه نرم تخته‌خردچوب و از خردچوب‌های بزرگ‌تر جهت تشکیل لایه مغزی تخته‌خردچوب در فرمینگ^۱ استفاده می‌شود. در تخته‌خردچوب‌های تدریجی یک خردچوب معمولاً در فرمینگ بر اساس وزن و به کمک نیروی پنوماتیکی تشکیل می‌شود.

کامبود آگاهی از تأثیر پارامترهای مختلف مؤثر بر شرایط ماشین کاری چوب و فرآورده‌های چوبی باعث افزایش ضایعات، افت کیفیت، هدررفت انرژی و افزایش هزینه‌های تولید می‌گردد، بنابراین دستیابی به شرایط مناسب و بهینه ماشین کاری چوب و فرآورده‌های آن بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

1- Forming

برای هر دو گونه مشابه است و دریافتند که میزان تولید چپس‌های ریز با افزایش سرعت تغذیه، زاویه برش و زاویه تیزی کاهش می‌یابد درحالی‌که با افزایش سرعت برش افزایش می‌یابد. هم‌چنین سرعت تغذیه به‌ازای دندان و سرعت برش تأثیر خطی روی تغییرات توزیع اندازه ذرات دارند، درحالی‌که زاویه برش تأثیر غیرخطی روی توزیع اندازه ذرات دارد (۱).

دویم (۲۰۱۱)، اشاره می‌کند که نیروی موازی برش با افزایش سرعت برش از ۳۰ تا ۶۰ متر بر ثانیه برای ۵ ابزار پوشش داده‌شده با کاربرد در فرایند ماشین‌کاری چوب سیمان‌ها افزایش می‌یابد (۶). کوز و مایر (۲۰۰۶)، در بررسی مقدار نیروهای برش در نمونه‌ها با سه حالت خشک، مرطوب و یخ‌زده به این نتیجه رسیدند که نیروی برش ویژه در چوب‌های یخ‌زده به‌دلیل وجود یخ در دیواره سلولی تقریباً بیش‌تر از چوب خشک می‌باشد، درحالی‌که در چوب مرطوب مقدار آن حداقل بود (۵). آگویلا و مارتین (۲۰۰۱) به بررسی نیروی برش، انرژی مصرفی و کیفیت سطح دو گونه راش و نراد تحت شرایط متفاوت برش پرداختند. میزان انرژی مصرفی به دو روش محاسبه شد. رطوبت در تمام نمونه‌ها در سطح ۹٪ و سرعت گردش محور در سه سطح ۴۰۰۰ و ۶۰۰۰ و ۸۰۰۰ دور بر دقیقه کنترل شد. در روش اول به کمک دستگاه وات‌متر و در روش دوم به کمک دستگاه پیزوالکتریک نیروی برش اندازه‌گیری شد و با کمک فرمول مقادیر انرژی مصرفی اندازه‌گیری شد. نهایتاً تأثیر هر یک از پارامترها ارزیابی شد و هم‌چنین میزان همبستگی دو روش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در ازای تغذیه ثابت برای هر دندان نیروی برش مستقیماً تحت تأثیر سرعت چرخش محور ابزار می‌باشد. الگوی برش همراه نیازمند نیروی برشی

پژوهش رطوبت چوب، جهت برش، سرعت برش و سرعت تغذیه به‌عنوان پارامتر متغیر در نظر گرفته شد (۱۳).

ما و همکاران (۲۰۱۴) در تخمین انرژی مصرفی و راندمان انرژی در ماشین‌کاری با ابزار فلزی، به بررسی پارامترهای متغیر شامل سرعت برش، زاویه حمله، شعاع انحنا و شعاع لبه ابزار پرداختند و راندمان برش مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد، تمامی پارامترها بر روی انرژی برش مؤثرند. افزایش زاویه حمله و یا کاهش شعاع انحنا مؤثرترین راه برای کاهش انرژی برشی است. افزایش سرعت برش یا کاهش شعاع انحنا نوک تیغه (تیزی تیغه) نیز هم‌چنین در کاهش انرژی برش مؤثر است. شعاع انحنا لبه و زاویه حمله اثر معنی‌داری بر راندمان برش دارند. سرعت برش و شعاع انحنا نوک اثر کمی بر روی راندمان برش دارند. به‌منظور کاهش مصرف انرژی، سرعت برش بالا، زاویه حمله بزرگ، شعاع انحنای کوچک نوک تیغه باید استفاده شود. البته شرایط بهینه برش ممکن است با عمر مفید تیغه در تناقض باشد (۱۱).

کنت و سنگوان (۲۰۱۴)، چندین مدل را برای حداقل‌سازی مصرف انرژی و زبری سطح در عملیات ماشین‌کاری را به‌کار بردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که سرعت تغذیه مهم‌ترین پارامتر ماشین‌کاری است و به دنبال آن عمق برش و سرعت برش جهت کاهش مصرف انرژی و زبری سطح قرار می‌گیرند (۸).

عبدالله (۲۰۱۱)، با بررسی اثر سرعت تغذیه به‌ازای دندان، زاویه تیزی دندان و سرعت برش روی دو گونه نراد و بلوط در خصوص توزیع اندازه ذرات چپس در چپیر دیسکی به این نتیجه رسید که نتایج

چوب‌بری دانشگاه علوم کاربردی روزنهایم منتقل شد.

سپس به منظور تبدیل گرده‌بینه‌ها به الوار از ااره نواری عمودی مدل ESTERER Model EB 1400 دارای واگن ESTERER Model EW 1000 استفاده شد و به مقدار کافی الوار با ابعاد مقطع 4×4 و 4×8 سانتی‌متر تولید شد. سپس الوارها به منظور کاهش رطوبت و خروج آب آزاد به مدت ۲۰ روز در هوای آزاد و فضای سرپوشیده داراب‌بندی شدند. پس از کاهش قابل‌توجه رطوبت در گام بعدی به ترتیب مورد نیاز الوارها در خشک‌کن LAUBER TROCKNUNGSTECHNIK مجهز به سیستم کنترل خودکار قرار داده شدند. سنسورهای رطوبتی نصب شد و بر اساس گونه، دما، سرعت گرمادهی و برنامه زمانی مناسب اتخاذ شد (شکل ۱).

بیش‌تری است، زیرا در این روش در شروع برش نیاز به برش چپس با ابعاد بزرگ می‌باشد، همچنین بیش‌ترین نیروی برش در راش، در عمق برش ۵ میلی‌متر و دور محور ۸۰۰۰ دور بر دقیقه محاسبه شد (۳).

لوهنتز و کوز (۱۹۹۸)، در پژوهش خود نشان دادند که با افزایش ضخامت تراشه تا ۲ برابر، نیروی موازی تا $1/55$ برابر افزایش می‌یابد. با افزایش ضخامت تراشه، نیروی نرمال برش کاهش یافته و بیش‌تر به سمت منفی تمایل داشت (۱۰).

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از دو گونه بلوط و صنوبر از جنگل‌های جنوبی شهر روزنهایم^۱ واقع در استان بایرن کشور آلمان استفاده شد. گرده‌بینه‌ها پس از استحصال از جنگل به وسیله جرثقیل و کامیون کشنده به واحد



شکل ۱- خشک‌کن.

Figure 1. Dryer chamber.



شکل ۲- دستگاه اندازه‌گیری مصرف انرژی.

Figure 2. Multi channel precision power meter device.

نصب شدند. سپس الوارها به خردکن استوانه‌ای تغذیه شد. نحوه برخورد تیغه به گرده‌بینه در شکل ۳ به‌خوبی قابل مشاهده است.

در گام بعدی به‌منظور اندازه‌گیری مصرف انرژی حین فرآیند خرد کردن در چپیر استوانه‌ای، سنسورهای دستگاه انرژی‌متر به خردکن استوانه‌ای



شکل ۳- تصویر شماتیک چپیر استوانه‌ای.

Figure 3. Drum chipper.

ثانیه ۱۰ بار اختلاف جریان ورودی و خروجی دستگاه را اندازه‌گیری کرده و به کمک روابط ثبت‌شده در دستگاه میزان مصرف انرژی را اندازه‌گیری می‌کند. سپس در هر مرحله با گرفتن میانگین داده‌های در

ابتدا گیره‌هایی^۱ از دستگاه به کابل‌های برق اصلی ورودی و خروجی دستگاه موردنظر وصل شد. اساس کار این دستگاه بدین‌شکل است که دستگاه در هر

1- Clamp

بر اساس رابطه‌های ۱ و ۲ و ثابت نگه‌داشتن میزان بیرون‌زدگی تیغه از استوانه در تمامی مراحل ضخامت چپیس ثابت در نظر گرفته شد.

$$V_c = \frac{\pi n D}{60} \quad (1)$$

$$e_m = \frac{1000 V_f}{n * z} \quad (2)$$

که در آن، e_m ضخامت خرده‌چوب (میلی‌متر)، V_f سرعت تغذیه (متر بر دقیقه)، n سرعت چرخشی محور، Z تعداد تیغه بر روی استوانه چپیس، V_c سرعت برش (متر بر ثانیه).

حالت باردهی^۱ در آسیاب مقدار مصرف انرژی محاسبه می‌شود. سپس بر اساس جدول ۱ تغذیه الوارها به خردکن صورت گرفت و در هر مرحله میزان مصرف انرژی به کمک دستگاه انرژی‌متر اندازه‌گیری شد (شکل ۲). پارامترهای بررسی‌شده در این آزمون عبارتند از گونه چوب در دو سطح (بلوط و صنوبر)، رطوبت در دو سطح ۴۰ درصد (بالای نقطه اشباع الیاف) و ۱۸ درصد (زیر نقطه اشباع الیاف)، ضخامت الوارها در دو سطح (۴ و ۸ سانتی‌متر) و سرعت برش در سه سطح (۱۶، ۲۰ و ۲۴ متر بر ثانیه). سپس بر اساس جدول طرح آزمایش‌ها تغذیه به خردکن بر اساس وزن برابر چوب صورت گرفت. همچنین با موازنه بین سرعت برشی و سرعت تغذیه

جدول ۱- طرح آزمایش‌ها.

Table 1. Experimental design.

گونه Species	رطوبت Moisture (%)	ضخامت الوار Thickness (cm)	سرعت برش Cutting velocity (m/s)
Poplar صنوبر (1)	18	4	16
Poplar صنوبر (1)	18	4	20
Poplar صنوبر (1)	18	4	24
Poplar صنوبر (1)	18	8	16
Poplar صنوبر (1)	18	8	20
Poplar صنوبر (1)	18	8	24
Poplar صنوبر (1)	40	4	16
Poplar صنوبر (1)	40	4	20
Poplar صنوبر (1)	40	4	24
Poplar صنوبر (1)	40	8	16
Poplar صنوبر (1)	40	8	20
Poplar صنوبر (1)	40	8	24

1- Load power

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

گونه Species	رطوبت Moisture (%)	ضخامت الوار Thickness (cm)	سرعت برش Cutting velocity (m/s)
Oak بلوط (2)	18	4	16
Oak بلوط (2)	18	4	20
Oak بلوط (2)	18	4	24
Oak بلوط (2)	18	8	16
Oak بلوط (2)	18	8	20
Oak بلوط (2)	18	8	24
Oak بلوط (2)	40	4	16
Oak بلوط (2)	40	4	20
Oak بلوط (2)	40	4	24
Oak بلوط (2)	40	8	16
Oak بلوط (2)	40	8	20
Oak بلوط (2)	40	8	24

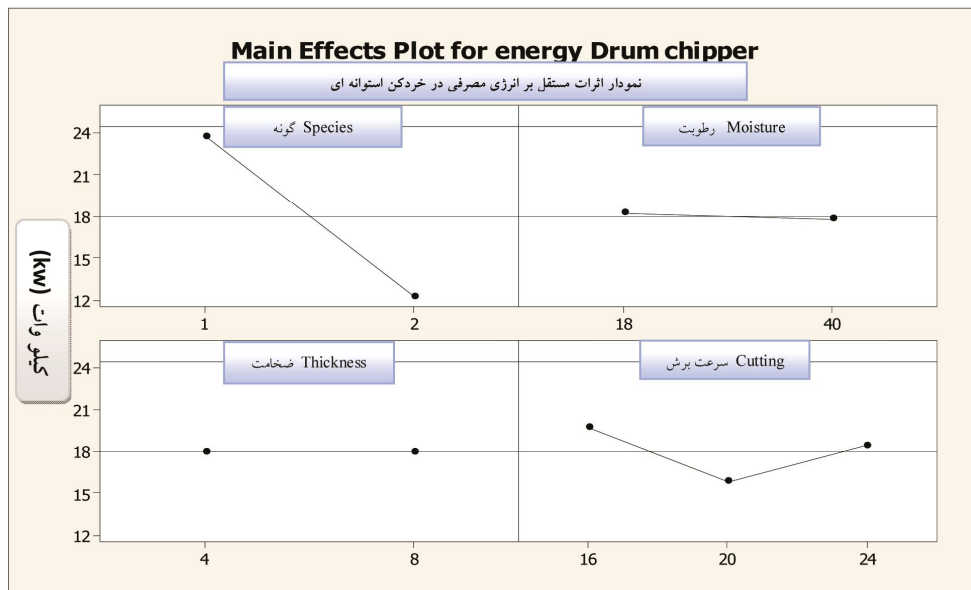
نتایج و بحث

از ترکیب دانسیته، ویژگی‌های ساختار درونی هر گونه به همراه خواص مکانیکی چوب به دست آید (۷). هم‌چنین نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش رطوبت الوارها از سطح ۱۸ درصد (زیر نقطه اشباع الیاف) به ۴۰ درصد (بالای نقطه اشباع الیاف) میزان انرژی مصرفی کاهش می‌یابد. کوز و مایر (۲۰۰۶)، در بررسی مقدار نیروهای برش در نمونه‌ها با سه حالت خشک، مرطوب و یخ‌زده به این نتیجه رسیدند که نیروی برش ویژه در چوب‌های یخ‌زده به دلیل وجود یخ در دیواره سلولی تقریباً بیش‌تر از چوب خشک می‌باشد، درحالی‌که در چوب مرطوب مقدار آن حداقل بود (۵).

شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب اثر مستقل و متقابل فاکتورهای متغیر را بر میزان انرژی مصرفی در چپبر استوانه‌ای و جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴ با تغییر گونه از صنوبر به بلوط یا به عبارت دیگر افزایش دانسیته، انرژی مصرفی در خردکن استوانه‌ای با تغذیه وزن برابر از هر دو گونه کاهش می‌یابد. آیما و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی تأثیر خواص فیزیکی و مکانیکی ۱۳ گونه چوبی استوایی جهت بهبود پیش‌بینی نیروهای برش در جهت ۰-۹۰ در یافتند که نیروهای برش با افزایش دانسیته افزایش می‌یابد. هم‌چنین آن‌ها دریافتند که دانسیته به تنهایی نمی‌تواند ارتباط بین گونه چوبی و نیروهای برش را توضیح دهد و نتایج دقیق‌تر می‌تواند

توجه به جدول ۲ تغییر در سرعت برشی خردکن علی‌رغم ثابت در نظر گرفتن ضخامت چپس تأثیر معنی‌دار بر میزان انرژی مصرفی خردکن دارد. بدین‌صورت که با افزایش سرعت برش از ۱۶ m/s به ۲۰ m/s نه‌تنها میزان راندمان و خروجی خردکن افزایش می‌یابد، بلکه میزان انرژی مصرفی نیز کاهش می‌یابد، در ادامه با افزایش توأم سرعت برش از سطح ۲۰ به ۲۴ متر بر ثانیه و سرعت تغذیه به‌منظور حفظ ضخامت ثابت چپس اگرچه خروجی دستگاه خردکن در واحد زمان افزایش می‌یابد، ولی میزان انرژی مصرفی نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین سرعت برش در سطح میانه ۲۰ متر بر ثانیه نسبت به دو سطح بالا و پایین ۲۴ و ۱۶ متر بر ثانیه از نظر میزان انرژی مصرفی برتری دارد.

هم‌چنین میزان مصرف انرژی در خردکن با افزایش ضخامت چوب از ابعاد ۴×۸ سانتی‌متر به ۸×۸ سانتی‌متر اندکی افزایش می‌یابد، اگرچه بر طبق آنالیز واریانس اثر ضخامت چوب در سطح ۹۵ درصد اطمینان معنی‌دار نبوده است. نوتین و همکاران (۲۰۱۶)، با بررسی بهره‌وری، کیفیت چپس، میانگین اندازه ذرات چپس تولید شده از دسته‌های چوبی با قطر کم به‌وسیله خردکن دیسکی دریافتند که اولاً بهره‌وری بین ۱/۵ تا ۳ برابر در هنگام استفاده از دسته‌های چوبی با قطر کم در مقایسه با تنه‌های گرده‌بینه‌فطور بیشتر است و هم‌چنین میزان رطوبت ماده اولیه نقش به‌سزایی در کیفیت و اندازه ذرات چپس‌های تشکیل شده دارد. هم‌چنین نتایج بیانگر نقش به‌سزای نوع خردکن و ماده اولیه داشت (۱۵). با



شکل ۴- نمودار اثرات مستقل بر انرژی مصرفی در خردکن استوانه‌ای.

Figure 4. Graph of main effects on energy consumption in drum chipper.

جدول ۲- سطح معنی‌داری اثرات مستقل و متقابل فاکتورهای متغیر در خردکن استوانه‌ای.

Table 2. Confidence level of main and interaction effects in drum chipper.

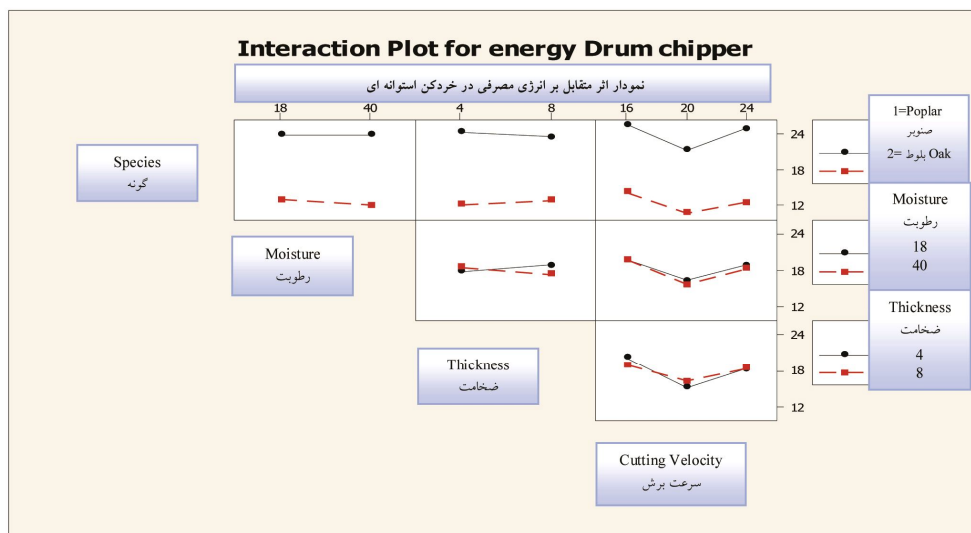
عوامل متغیر Variable parameters	درجه آزادی Degree of freedom	انرژی مصرفی در خردکن استوانه‌ای Energy consumption in drum chipper	
		MS	P value
گونه Species	1	2365.69	0.00**
رطوبت Moisture	1	3.45	0.032*
ضخامت Thickness	1	0.03	0.315 ^{ns}
سرعت برش Velocity cutting	2	93.4	0.00**
گونه × رطوبت Species × Moisture	2	3.9	0.023*
گونه × ضخامت Species × Thickness	2	9.18	0.001**
گونه × سرعت برش Species × Velocity cutting	2	5.47	0.001**
رطوبت × ضخامت Moisture × Thickness	2	20.55	0.00**
رطوبت × سرعت برش Moisture × Velocity cutting	2	0.83	0.829 ^{ns}
ضخامت × سرعت برش Thickness × Velocity cutting	2	8.95	0.02**
گونه × رطوبت × ضخامت Species × Moisture × Thickness	1	7.78	0.089 ^{ns}
گونه × رطوبت × سرعت برش Species × Moisture × Velocity cutting	2	3.5	0.011*
گونه × ضخامت × سرعت برش Species × Thickness × Velocity cutting	2	9.58	0.00**
رطوبت × ضخامت × سرعت برش Moisture × Thickness × Velocity cutting	2	3.59	0.01**
R	48	0.7	

نمی‌یابد. در گونه صنوبر با توجه به دانسیته پایین‌تر اگرچه افزایش رطوبت سبب نرم‌تر شدن چوب می‌شود، ولی این نرمی سبب افزایش انعطاف‌پذیری و تغییر شکل چوب صنوبر در برابر نیروهای برش می‌شود. در پژوهشی مشابه میکولاسیک و همکاران

با توجه به شکل ۵، اثر متقابل گونه و رطوبت نشان می‌دهد، در گونه بلوط افزایش رطوبت از سطح ۱۸ به ۴۰ درصد کاهش انرژی مصرفی را به همراه داشته است که منطقی نیز به نظر می‌رسد اما در گونه صنوبر با افزایش رطوبت مصرف انرژی کاهش

برش پذیری آن را افزایش می دهد. اثر متقابل ضخامت و سرعت برش نشان می دهد در هر دو گونه افزایش سرعت برش در گام اول از ۱۶ به ۲۰ متر بر ثانیه سبب کاهش مصرف انرژی شده است و در گام دوم افزایش سرعت برش از ۲۰ به ۲۴ متر بر ثانیه افزایش انرژی مصرفی را به همراه داشته است. در مرحله نخست افزایش سرعت برش سبب کاهش تغییر شکل در هنگام شکست و کاهش اصطکاک شده است که کاهش مصرف انرژی را در پی داشته است، در ادامه همین افزایش سرعت برش احتمالاً سبب گرم شدن بیش از حد بافت چوب و لیگنین شده است که منجر به افزایش چسبندگی تیغه به بافت چوب و افزایش اصطکاک شده است. در مطالعه مشابهی تونل (۱۹۸۵) بیان نمود که افزایش سرعت برش باعث کاهش نیروهای برشی می شود و در واقع در بسیاری از مواد ضریب اصطکاک با افزایش سرعت برش کاهش می یابد (۱۶). هم چنین نتایج آنالیز واریانس معنی داری اثرات متقابل گونه و سرعت برش، رطوبت و ضخامت، سرعت برش و ضخامت را نشان می دهد.

(۱۹۸۱) نیز بیان کردند که با افزایش رطوبت چوب، علی رغم کاهش مقاومت مکانیکی، نیروی برش ویژه همانند توان برش افزایش می یابد (۱۲). با افزایش ضخامت از ۴ به ۸ سانتی متر در سطح رطوبتی ۱۸ درصد میزان انرژی مصرفی افزایش می یابد، در حالی که در سطح رطوبتی ۴۰ درصد افزایش ضخامت باعث تغییر در مصرف انرژی نشده است. هم چنین آنالیز واریانس معنی داری آن را در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأیید می نماید. اثر متقابل گونه و ضخامت نیز معنی دار می باشد. در گونه بلوط با افزایش ضخامت میزان انرژی مصرفی افزایش یافته، اما در صنوبر نتیجه عکس بوده است. از آنجا که گونه صنوبر گونه سبکی است در خصوص افزایش رطوبت و ضخامت نتیجه خلاف انتظار نشان می دهد. بدین صورت که کاهش ضخامت کرنش و تغییر شکل آن را در برابر نیروهای برش افزایش می دهد که همین افزایش خاصیت الاستیک مصرف انرژی را در حین برش افزایش می دهد؛ اما هنگامی که ضخامت این چوب افزایش می یابد تغییر شکل آن را در برابر نیروهای برشی به واسطه ضخامت بیش تر می کاهد و همین امر

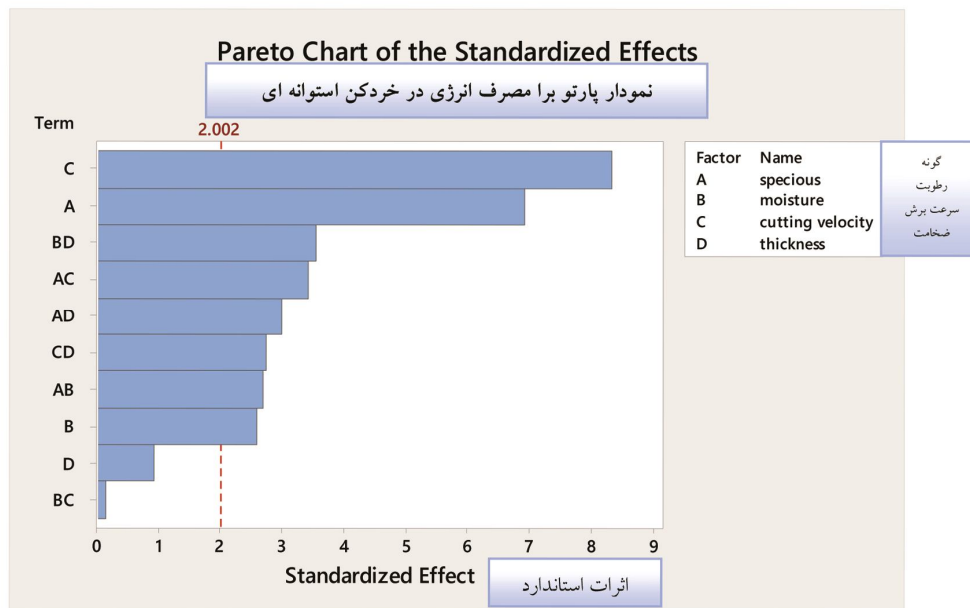


شکل ۵- نمودار اثر متقابل بر انرژی مصرفی در خردکن استوانه ای.

Figure 5. Graph of interaction effects on energy consumption in drum chipper.

مصرفی دارد. اثر متقابل رطوبت و ضخامت در جایگاه سوم تأثیرگذاری قرار دارد. رطوبت کم‌ترین سطح تأثیرگذاری را داشته است و اثر متقابل گونه و رطوبت در جایگاه دوم کم‌ترین سطح تأثیرگذاری قرار می‌گیرد.

نمودار پارتو (شکل ۶) به ترتیب میزان تأثیرگذاری اثر مستقل و متقابل هر کدام از پارامترهای متغیر بر روی مصرف انرژی در خردکن استوانه‌ای را در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان می‌دهد. با توجه به نمودار اثر مستقل دو فاکتور سرعت و گونه به ترتیب بیش‌ترین تأثیر معنی‌دار را بر انرژی



شکل ۶- نمودار پارتو برای مصرف انرژی در خردکن استوانه‌ای.

Figure 6. Pareto graph for energy consumption in drum chipper.

به‌عنوان مثال، در اثر متقابل رطوبت و گونه عدد ۳ نشان‌دهنده اهمیت تأثیرگذاری اثرات متقابل این دو فاکتور می‌باشد و علامت \pm با توجه به نمودار اثرات متقابل گویای این مطلب می‌باشد که در گونه بلوط با افزایش رطوبت از سطح ۱۸ به ۴۰ درصد میزان انرژی مصرفی کاهش یافته است، درحالی‌که در صنوبر افزایش رطوبت از سطح ۱۸ به ۴۰ درصد میزان انرژی مصرفی افزایش یافته است.

جدول ۳ میزان و نوع اثرگذاری هر یک از عوامل متغیر بر مصرف انرژی را با توجه به مقادیر P value و میانگین مربعات ارائه‌شده در جدول ۲، به ترتیب اهمیت نشان می‌دهد. شماره‌گذاری به ترتیب اهمیت از عدد ۱، به‌عنوان مؤثرترین عامل بر مشخصه مصرف انرژی شروع شده و علامت + و - به ترتیب اثر کاهشی و افزایشی بر مصرف انرژی را نشان می‌دهد. علامت \pm نیز تأثیر دوگانه افزایشی و کاهشی برخی اثرات مقابل بر مصرف انرژی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- میزان اثرگذاری عوامل متغیر بر مصرف انرژی.

Table 3. The effect of variables on energy consumption.

رطوبت × سرعت برش M×Vc	گونه × رطوبت S×M	سرعت برش × ضخامت Vc×T	گونه × ضخامت S×T	گونه × سرعت برش S×Vc	رطوبت × ضخامت M×T	ضخامت Thickness	سرعت برش Cutting velocity	رطوبت Moisture	گونه Species
ns	+7	±6	±5	±4	±3	ns	±1	+8	-2

افزایش ضخامت سبب افزایش مصرف انرژی شد، اما در صنوبر افزایش ضخامت تأثیر معنی‌داری بر مصرف انرژی نشان نداد. افزایش رطوبت در گونه‌های مختلف نتیجه یکسانی را به دنبال نداشت. در گونه صنوبر افزایش رطوبت از سطح ۱۸ به ۴۰ درصد تأثیر معنی‌داری بر مصرف انرژی نداشت، اما افزایش رطوبت در بلوط سبب کاهش مصرف انرژی شد.

از راهکارهای کاهش انرژی مصرفی در حین فرآیند ماشین‌کاری می‌توان از کنترل شرایط برش و فاکتورهای مرتبط با ماشین‌کاری، ابزار برش و ماده تحت برش نام برد؛ به عبارت دیگر اگر حساب شده و هوشمندانه عملیات خرد کردن چوب و با هدف از قبل تعیین شده صورت گیرد می‌توان از هدررفت مقدار قابل توجهی از انرژی جلوگیری کرد.

نتیجه‌گیری کلی

از پارامترهای مؤثر بر مصرف انرژی در خردکن استوانه‌ای می‌توان به ترتیب سرعت برش، دانسیته و رطوبت ماده اولیه اشاره کرد که اثرگذاری هر کدام از آن‌ها بسته به شرایط مختلف می‌تواند متفاوت باشد. نتایج نشان داد سرعت برش بیش‌ترین تأثیر مستقل را بر مصرف انرژی داشته است و رطوبت کم‌ترین اثر مستقل را در سطح اطمینان ۹۵ درصد داشته است. ضخامت مستقلاً اثر معنی‌داری بر مصرف انرژی فرآیند نداشت، اما در تقابل با سایر پارامترها مؤثر واقع شده است. در رطوبت ۱۸ درصد افزایش ضخامت سبب افزایش مصرف انرژی شد، اما در رطوبت ۴۰ درصد افزایش ضخامت تأثیر معنی‌داری در مصرف انرژی نداشت. مصرف انرژی در ضخامت‌های مختلف در سطوح متفاوت دانسیته نتایج متفاوتی را به دنبال داشت. چنانچه در گونه بلوط

منابع

1. Abdallah, R., Achet, S., and Me'ausoone, P.J. 2011. Experimental study about the effects of disc chipper settings on the distribution of wood chip size. Biomass and bioenergy. 35: 843-852.
2. Aguilera, A.P., Meausoone, J., and Martin, P. 2000. Wood material influence in routing operation: the MDF case. Holz als Roh-und Worst-off. 58: 278-283.
3. Aguilera, A., and Martin, P. 2001. Machining qualification of solid wood of Fagus sylvatica L. and Picea excels L.: cutting forces, power requirements and surface roughness. Holz als Roh-und Worst-off. 5: 483-488.
4. Bučko, J. 2001. Chemical wood processing in theory and practice. Technical University in Zvolen, Zvolen, Slovakia, 427p.
5. Cooz, V., and Mayer, R.W. 2006. Cutting forces for tension and normal wood of maple. Forest Product J. 56: 26-34.
6. Davim, J.P. 2011. Wood machining. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc, Great Britain and the United States.
7. Eyma, F., Méausoone, P.J., and Martin, P. 2004. Strains and cutting forces involved in the solid wood rotating cutting process. J. of Materials and Processing Technology. 148: 220-225.

8. Kant, G., and Sangwan, K.S. 2014. Prediction and optimization of machining parameters for minimizing power consumption and surface roughness in machining. *J. of Cleaner Production*. 83: 151-164.
9. Koch, P. 1964. Wood machining process. Ronald Press, New York, U.S.A, 269p.
10. Loehnertz, S.P., and Cooz, I.V. 1998. Saw tooth forces in cutting tropical hardwoods native to South America. Research Paper. FPL-RP-567, 18p.
11. Ma, J., Ge, X., Chang, S.I. and Lei, S. 2014. Assessment of cutting energy consumption and energy efficiency in machining of 4140 steel. *The International J. of Advanced Manufacturing Technology*. 74: 1701-1708.
12. Mikolašik, L. 1981. Drevarske stroje a zariadenia, 1. zväzok, SNTL – Statni nakladatelstvi technicke literatury, Praha, 38p.
13. Moradpour, P., Scholz, F., Doosthoseini, K., and Tarmian, A. 2016. Measurement of wood cutting forces during bandsawing using piezoelectric dynamometer. *Drvna Industri J.* 67: 1. 79-84.
14. Mori, M., Fujishima, M., Inamasu, Y., and Oda, Y. 2011. A study on energy efficiency improvement for machine tools. *CIRP Annals Manufacturing Technology*. 160: 2. 145-148.
15. Nuutinen, Y., Petty, A., Bergström, D., Rytönen, M., DiFulvio, F., Tiihonen, I., Lauren, A., and Dahlin, B. 2016. Quality and productivity in comminution of small diameter tree bundles. *International J. of Forest Engineering*. 27: 3. 179-187.
16. Thunell, B. 1985. Schnittkraftbestimmung bei der Holzbearbeitung. Holz als Roh- und werkstoff. 16: 138-145.

Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 26 (4), 2020<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwfst.2019.15729.1773

Evaluation of some effective parameters on energy consumption in drum chipper

M. Aghakhani¹, *A. Khazaeian², A. Rafighi² and F. Scholz³

¹Ph.D. Student, Dept., of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

²Associate Prof., Dept., of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

³Professor, Dept., of Wood Technology Group, Rosenheim University of Applied Sciences, Germany

Received: 10.13.2018; Accepted: 07.08.2019

Abstract

Background and Objectives: Wood chipping is an important step in wood chipboard factories. Producing high quality chips with effective dimension and size, not only guaranties high quality in final product, but also reduce produce time in secondary machines and subsequently energy consumption. The aim of this study was evaluation of effective parameters on energy consumption in drum chipper which was done in Rosenheim University of applied sciences (Germany). In this regard, the effect of wood species, cutting velocity, moisture content and wood dimensions were evaluated. For precise investigation of energy consumption in each situation of experimental design, equal weight of the trunk converted to chips. Also, chips thickness was also considered constant in all the tests.

Materials and Methods: In this study, *Populus termula* and *Quercus Robur* were used. First, samples through band saw blade ESTERER Model EB 1400 converted to lumbers with dimensions 4×8 cm and 8×8 cm. Then samples dried in chamber LAUBER TROCKNUNGSTECHNIK with automatic system to reach 18 and 40 percent moisture content. Next samples based on experimental design which were prepared with factorial design and equal weight of the trunk, feed to drum chipper. By adjusting the axis rotation speed on drum chipper, the cutting velocity was managed at 3 levels of 16, 20 and 24 meters per second. The energy consumption during the process by Multi-channel precision power meter was measured.

Results: After analyzing data, results showed that factors of species, moisture and cutting velocity had significant effect on energy consumption in drum chipper at 95 percent confidence level. Main effect plot showed that, Oak species compared to poplar, 40 percent moisture compared to 18 percent, 20 m/s cutting velocity in comparison with 24 and 16 accounted for less energy consumption. The results of analysis of variances showed that the main effect of thickness on energy consumption is not significant. Also results showed that, cutting velocity had the most main effect and moisture content had the least main effect on energy consumption at 95 percent confidence level.

Conclusion: The results of interaction plot showed that while thickness did not have significant main effect on energy consumption, it was effective in reaction to other parameters. Oak with 40 percent moisture, 4 cm thickness and 20 m/s cutting velocity had the least energy consumption, whereas poplar with 18 percent moisture, 8 cm thickness and 20 m/s had the least energy consumption. This difference in energy consumption may be happened due to difference in texture and visco-elastic properties of two species against cutting forces. Probably in poplar species, increasing moisture content and decreasing thickness to 4 cm, increased wood deformation against cutting force and this behavior results in more energy consumption during cutting.

Keywords: Cutting velocity, Drum chipper, Energy consumption, Oak, Poplar

*Corresponding author: khazaeian@gau.ac.ir

Arci