



دانشگاه گورگان، دانشکده منابع طبیعی گورگان

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد هفدهم، شماره اول، ۱۳۸۹

www.gau.ac.ir/journals

## بررسی کیفیت سطح لبه MDF طی فرآیند فرزکاری

\* ابوالقاسم خزاعیان<sup>۱</sup>، زهرا معصومی<sup>۲</sup> و تقی طبرسا<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۳</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۲۸

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی کیفیت سطح لبه MDF طی فرآیند فرزکاری انجام شد. به این منظور ورق MDF خام و بدون روکش به ضخامت ۱۶ میلی‌متر به تخته‌هایی به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متر تبدیل گردید. نمونه‌ها در دستگاه CNC بر اساس استاندارد شماره ASTM D-۱۶۶۳۷ برش داده شدند. جهت بررسی کیفیت سطح نمونه‌ها در شرایط مختلف فرزکاری، سرعت چرخشی محور دستگاه در دو سطح ۱۲۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ دور در دقیقه، سرعت تغذیه در دو سطح ۶ و ۱۲ متر در دقیقه و عمق برش در دو سطح ۱ و ۵ میلی‌متر، تنظیم شد. روش کار (الگوی برش) شامل برش همراه و برش مقابل و جهت برش به دو صورت موازی با طول ورق MDF و عمود بر طول ورق بود. ناهمواری سطوح لبه نمونه‌های برش‌خورده در دو لایه سطحی و مغزی (۲ و ۸ میلی‌متری از سطح هر یک از نمونه‌ها)، با استفاده از روش پروفیلومتری اندازه‌گیری و مقادیر سه پارامتر زبری سطح شامل زبری متوسط (Ra)، ماکزیمم ارتفاع روی خط میانگین (Rp) و ماکزیمم فرورفتگی زیر خط میانگین (Rv) و همچنین پارامتر موج متوسط (Wa) محاسبه گردید. نتایج نشان داد که عوامل متغیر در سطوح تعیین شده بر کیفیت لایه سطحی MDF تأثیر معنی‌داری نداشتند و این لایه به دلیل زیاد بودن دانسیته، مقاومت و رفتار خوبی در مقابل شرایط برش نشان داد و تمامی پارامترهای ناهمواری در این لایه نسبت به لایه مغزی از مقادیر کمتری برخوردار بودند. لایه مغزی به دلیل دانسیته و تراکم کمتر، نسبت به تغییر عوامل برش،

\*مسئول مکاتبه: khazaiean@gmail.com

عکس‌العمل نشان داد و در شرایط مختلف برش از کیفیت سطح متفاوتی برخوردار بود. جز عمق برش، سایر عوامل شامل سرعت چرخشی محور، سرعت تغذیه، روش کار و جهت برش، بر کیفیت سطح لایه مغزی اثر معنی‌دار داشتند. در نهایت برای دستیابی به کیفیت سطح مناسب با استفاده از یک فرز با قطر ۲۰ میلی‌متر و یک دندانه، سرعت چرخشی ۲۰۰۰۰rpm، سرعت پیشروی ۶m/min، عمق برش ۱ میلی‌متر و روش کار مقابل در هر دو جهت طولی و عرضی تخته پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** فرزکاری، کیفیت سطح لبه MDF، دستگاه CNC، شرایط برش، زبری سطح

### مقدمه

وجود دستگاه‌ها و ماشین‌آلات جدید را در صنعت درودگری می‌توان دستاورد بشر در بهبود استفاده از منابع جنگلی قلمداد کرد. همراه با گسترش این ماشین‌آلات، کیفیت محصولات نیز به شکل قابل توجهی افزایش یافت. از جمله این ماشین‌آلات، می‌توان ماشین CNC<sup>۱</sup> را نام برد که استفاده از این ماشین، میزان و تکرار خطاها را کاهش داده و به اپراتور اجازه می‌دهد که کارهای بیشتر را در زمان کمتر و با دقت بیشتر، انجام دهد. از توانایی‌های این دستگاه، برش‌های صاف و منحنی فرآورده‌های چوبی است.

از جمله چالش‌های موجود در بهره‌برداری از ماشین‌آلات، تعیین بهینه پارامترهای مربوط به ماشین، ابزار و ماده اولیه چوبی می‌باشد. کنترل پیوسته و مداوم فرایند برش و زبری سطح، می‌تواند در بهینه‌سازی پارامترهای ماشین‌کاری و یا ابزار بسیار مؤثر باشد (فرانز، ۱۹۵۸). ارزیابی کیفیت سطح این امکان را فراهم می‌کند که اپراتور ماشین معایب ماشین‌کاری را به سرعت بررسی کند. پژوهشگران بسیاری به بررسی شرایط بهینه ماشین‌کاری و فرزکاری در انواع فرآورده‌های چوبی پرداخته‌اند. آگیولرا و همکاران (۲۰۰۰) در بررسی اثر تغییرات دانسیته MDF<sup>۲</sup> بر کیفیت سطح نشان دادند که دو فاکتور دانسیته و ضخامت پوشال بر کیفیت سطح MDF در هنگام ماشین‌کاری با CNC، دارای اهمیت بوده و با افزایش ضخامت پوشال تولیدی و کاهش دانسیته در لایه‌های مغزی، پارامترهای زبری از جمله Ra و Rp افزایش می‌یابد. کاست (۲۰۰۱) در پژوهش‌های خود بر روی روش‌های مختلف برش در چند گونه چوب ماسیو به این نتیجه رسید که روش کار همراه شکست‌های ایجاد شده در ابتدا و انتهای قطعه کار (لاشه شدن) را محدود کرده و کیفیت سطح بهتری تولید می‌نماید. ون چینگ و ایرن (۲۰۰۲) در بررسی

1. Computer Numerical Control
2. Medium Density Fiber Board

اثر زاویه‌های متفاوت مارپیچ فرز (صفر تا ۸ درجه) ماشین CNC روی میزان ترک‌های ایجاد شده در چوب، دریافتند که با کاهش زاویه مارپیچ به کمتر از ۵ درجه، میزان ترک‌ها کاهش می‌یابد. خزاعیان (۲۰۰۵) با مطالعه ۱۴ فاکتور در زمینه شرایط برش، ماده تحت برش و ابزار روی سه گونه صنوبر، راش و بلوط اروپا، نتیجه گرفت که در برش عرضی، روش کار همراه، اثر مثبت بر کیفیت سطح و اثر منفی بر کیفیت سطح در مقطع مماسی نشان داد، به گونه‌ای که میزان فیبرهای کنده شده و پرزدار را افزایش داد. هم‌چنین افزایش سرعت تغذیه باعث افزایش زبری سطح شده و ژئومتری و کیفیت سطح ایجاد شده در هنگام برش وابسته به پیشروی دندان می‌باشد؛ به این ترتیب که افزایش پیشروی دندان پارامترهای سطح را افزایش می‌دهد. پائلو و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی اثر سرعت تغذیه و سرعت چرخشی محور دستگاه CNC بر کیفیت سطح MDF در طی فرایند ماشین‌کاری، به این نتیجه رسیدند که افزایش سرعت چرخشی محور سبب کاهش زبری سطح و افزایش سرعت تغذیه سبب افزایش زبری سطح می‌گردد. گولی و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی تولید پوشال در روش‌های برش همراه و مقابل در چوب دوگلاس فر (*Douglas fir*) پرداخته و نتیجه گرفتند که فرزکاری مواد انیزوتروپیک در برش‌های مقابل و همراه، منجر به ژئومتری (هندسه) برش متفاوت می‌شود و برای اثبات این موضوع چوب دوگلاس فر را با عمق برش‌های مختلف و در جهت‌های مختلف الیاف برش داده و پوشال‌های تولیدی را جمع‌آوری و آنالیز کردند. نتایج نشان داد که تفاوت‌ها در جهت‌های مختلف الیاف و در برش‌های مقابل و همراه با عمق‌های برش مختلف، اثر معنی‌داری بر نوع پوشال تولیدی دارد.

با توجه به این‌که قسمت عمده ابزارهای مورد استفاده در تولید مبلمان از نوع فرزکاری هستند و کیفیت سطح ایجاد شده توسط این ابزارها نقش مهمی در کاربری محصولات دارد، مطالعه فاکتورهای وابسته به فرآیند برش و ماده مصرفی دارای اهمیت می‌باشد. MDF ماده‌ای است که امروزه در صنایع کشور به‌طور گسترده استفاده می‌شود، اما نبود اطلاعات در مورد شرایط فرزکاری این ماده و پارامترهای مؤثر بر کیفیت سطح آن، باعث افت کیفیت سطح قطعات و محصولات تولیدی از این ماده می‌گردد. هدف از این پژوهش شناخت پارامترهای مؤثر ماشین‌کاری با ابزار مشخص بر زبری سطحی در لایه‌های مختلف MDF با دانسیته‌های متفاوت می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

آماده‌سازی ماده اولیه جهت برش: در این پژوهش از ورق MDF خام و بدون روکش ساخت کشور ترکیه، به ضخامت ۱۶ میلی‌متر و دانسیته  $0.7 \text{ gr/cm}^3$  استفاده و نمونه‌ها از آن تهیه شد. عوامل متغیر به

شرح زیر تعیین شد: ۱- عمق برش در دو سطح ۱ و ۵ میلی‌متر. ۲- سرعت تغذیه در دو سطح ۶ و ۱۲ متر در دقیقه. ۳- سرعت چرخشی محور در دو سطح ۱۲۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ دور در دقیقه. ۴- روش کار (الگوی برش) به دو صورت برش همراه و برش مقابل. ۵- جهت برش به دو صورت موازی با طول تخته MDF و عمود بر طول تخته. یک تیمار با سطوح میانی پارامترهای مورد مطالعه در ۴ تکرار در طرح آزمایشی منظور گردید. شرایط مختلف برشی با توجه به متغیرهای موجود، در قالب طرح فاکتوریل شکسته ( $2^{16-1}$ ) با استفاده از نرم‌افزار Minitab تعیین گردید. جدول ۱ شرایط برش را براساس طرح آزمایشی انتخابی نشان می‌دهد. در این حالت ۱۶ تیمار اصلی و یک تیمار متشکل از سطوح میانی فاکتورهای مورد مطالعه پیش‌بینی شده است که در مجموع شامل ۲۰ آزمایش می‌باشد. ردیف‌های ۲، ۱۰، ۱۹ و ۲۰ شرایط برش با سطوح میانی بوده که به‌طور تصادفی در طرح آزمایشی پیش‌بینی شده است.

جدول ۱- عوامل متغیر و سطوح آنها در شرایط برشی مختلف.

شرایط	N	Vf	عمق برش	روش کار	جهت برش	سرعت برش	Fz	em
۱	۲۰۰۰۰	۱۲	۱	مقابل	عمود	۲۰/۹۳	۰/۶	۰/۱۳
۲	۱۶۰۰۰	۹	۳	مقابل	موازی	۱۶/۷۴	۰/۵۶	۰/۲۱
۳	۲۰۰۰۰	۶	۵	همراه	موازی	۲۰/۹۳	۰/۳	۰/۱۵
۴	۱۲۰۰۰	۱۲	۱	مقابل	موازی	۱۲/۵۶	۱	۰/۲۲
۵	۱۲۰۰۰	۶	۱	همراه	موازی	۱۲/۵۶	۰/۵	۰/۱۱
۶	۱۲۰۰۰	۶	۱	مقابل	عمود	۱۲/۵۶	۰/۵	۰/۱۱
۷	۲۰۰۰۰	۱۲	۵	مقابل	موازی	۲۰/۹۳	۰/۶	۰/۳
۸	۱۲۰۰۰	۱۲	۵	همراه	موازی	۱۲/۵۶	۱	۰/۵
۹	۱۲۰۰۰	۱۲	۱	همراه	عمود	۱۲/۵۶	۱	۰/۲۲
۱۰	۱۶۰۰۰	۹	۳	مقابل	موازی	۱۶/۷۴	۰/۵۶	۰/۲۱
۱۱	۱۲۰۰۰	۱۲	۵	مقابل	عمود	۱۲/۵۶	۱	۰/۵
۱۲	۲۰۰۰۰	۱۲	۱	همراه	موازی	۲۰/۹۳	۰/۶	۰/۱۳
۱۳	۱۲۰۰۰	۶	۵	مقابل	موازی	۱۲/۵۶	۰/۵	۰/۲۵
۱۴	۲۰۰۰۰	۶	۵	مقابل	عمود	۲۰/۹۳	۰/۳	۰/۱۵
۱۵	۱۲۰۰۰	۶	۵	همراه	عمود	۱۲/۵۶	۰/۵	۰/۲۵
۱۶	۲۰۰۰۰	۶	۱	مقابل	موازی	۲۰/۹۳	۰/۳	۰/۰۶
۱۷	۲۰۰۰۰	۶	۱	همراه	عمود	۲۰/۹۳	۰/۳	۰/۰۶
۱۸	۲۰۰۰۰	۱۲	۵	همراه	عمود	۲۰/۹۳	۰/۶	۰/۳
۱۹	۱۶۰۰۰	۹	۳	مقابل	موازی	۱۶/۷۴	۰/۵۶	۰/۲۱
۲۰	۱۶۰۰۰	۹	۳	مقابل	موازی	۱۶/۷۴	۰/۵۶	۰/۲۱

N = تعداد دور محور دستگاه در هر دقیقه (rpm)، Vf = سرعت تغذیه (m/min)، جهت برش = جهت فرزکاری با توجه به طول تخته

همچنین سرعت برش ( $V_c$ )، پیشروی هر دندانه ( $F_z$ ) و ضخامت پوشال ( $em$ ) با توجه به شرایط برشی و با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شد:

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

$$F_z = \frac{100 \cdot Vf}{NZ} \quad (2)$$

$$em = F_z \sqrt{\frac{H}{D}} \quad (3)$$

$V_c$  = سرعت برش (متر بر ثانیه)،  $D$  = قطر فرز (میلی‌متر)،  $F_z$  = پیشروی هر دندانه (میلی‌متر)  
 $em$  = ضخامت پوشال (میلی‌متر)،  $Z$  = تعداد دندانه فرز (یک عدد)،  $H$  = عمق برش (میلی‌متر)

با هدف بررسی اثر عوامل متغیر بالا بر کیفیت سطح لبه MDF، تخته‌هایی به ابعاد  $50 \times 50$  سانتی‌متر از ورق MDF جدا شد. به منظور بررسی اثر جهت فرزکاری (پیشروی فرز) بر کیفیت سطح، اضلاع تخته‌ها منطبق بر جهت طول و پهناى ورق MDF مشخص و علامت‌گذاری گردید.

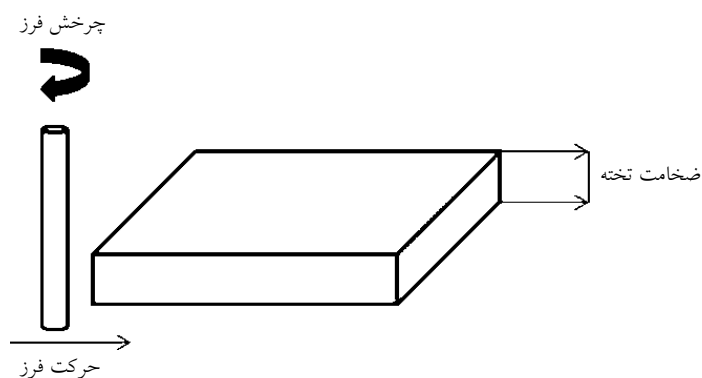
**برش نمونه‌ها توسط دستگاه CNC:** با توجه به جدول ۱ شرایط مختلف برش با نرم‌افزار *BIESSWORK* که یکی از نرم‌افزارهای ماشین CNC است، طراحی شد. محیط این نرم‌افزار قابلیت خواندن فایل‌های ترسیمی اتوکد<sup>۱</sup> را با پسوند خاصی دارا بوده؛ بنابراین ابعاد برش با کمک نرم‌افزار اتوکد ترسیم شده و به محیط دو بعدی نرم‌افزار *BIESSWORK* منتقل گردید. به این ترتیب دستگاه قابلیت خواندن ترسیمات برشی را پیدا می‌کند. نمونه‌ها جهت برش بر اساس استاندارد شماره ASTM D-۱۶۶۸۷ به دستگاه CNC مدل *ROVER*، ساخت کشور ایتالیا، منتقل شد. به منظور برش تحت شرایط متغیر پیش‌بینی شده، در هر نمونه ۴ شرایط مختلف برش منظور گردید. به این معنی که در هر ضلع نمونه مربعی شکل، یک شرایط برشی خاص با در نظر گرفتن طول و عرض تخته منظور گردید و در دو تخته دیگر شرایط برشی سطح میانی با ۴ تکرار، اجرا شد.

شکل ۱، پیشروی قطعه کار و جهت چرخش فرز در برش همراه و مقابل را نشان می‌دهد.



شکل ۱- حرکت محور دستگاه CNC در برش همراه و مقابل.

قطر فرز مورد استفاده در برش نمونه‌ها ۲۰ میلی‌متر بود که رایج‌ترین فرز جهت برش پانل‌های چوبی به وسیله دستگاه CNC در ایران می‌باشد. به منظور حذف اثر فرسودگی فرز بر کیفیت سطح نمونه‌ها، از فرزی نو برای برش استفاده شد. شکل ۲ چگونگی حرکت فرز در لبه نمونه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۲- فرزکاری در لبه نمونه‌ها.

اندازه‌گیری کیفیت سطح لبه نمونه‌ها: کیفیت سطوح نمونه‌های برش‌خورده در ضخامت، توسط دستگاه زبری سنج *Taylor/Hobson* موجود در پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی تهران و براساس استاندارد ISO ۴۲۸۷ اندازه‌گیری شد. برای انجام این آزمایش از نمونه‌های برش داده شده با CNC، قطعاتی به ابعاد  $۵ \times ۵ \times ۱/۶$  سانتی‌متر تهیه و به منظور جلوگیری از تبادل رطوبتی، در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند. اندازه‌گیری کیفیت سطح لبه نمونه‌ها در دو لایه در ضخامت تخته به فاصله ۲ و ۸ میلی‌متر از سطح نمونه‌ها به عنوان لایه سطحی و مغزی، انجام گردید.

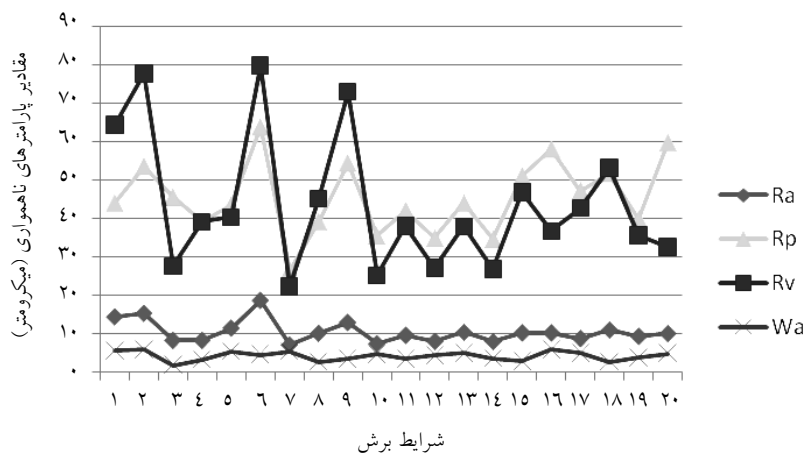
عکسبرداری از نمونه‌ها: سطح لبه نمونه‌های برش خورده، توسط دستگاه استریومیکروسکوپ در بزرگنمایی‌های ۷X و ۲۰X عکس‌برداری شد.

اندازه‌گیری دانسیته لایه سطحی و میانی تخته‌ها: برای انجام این آزمایش از نمونه‌های برش خورده که کیفیت سطح آن اندازه‌گیری شده بودند، یک لایه نازک به ضخامت ۳ میلی‌متر از سطح نمونه‌ها و یک لایه دیگر به ضخامت ۴ میلی‌متر از مرکز نمونه‌ها جدا گردید. دانسیته لایه‌ها براساس استاندارد ASTM D-۲۳۹۵ محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری: بررسی آماری نتایج مربوط به کیفیت سطح تخته‌ها با شرایط برش مختلف، به وسیله آزمایش فاکتوریل شکسته<sup>۱</sup> در قالب طرح کاملاً تصادفی و به کمک نرم‌افزار Minitab انجام گردید. برای مقایسه پارامترهای ناهمواری در لایه سطحی و مغزی و دانسیته این دو لایه، از آزمون T-TEST استفاده شد.

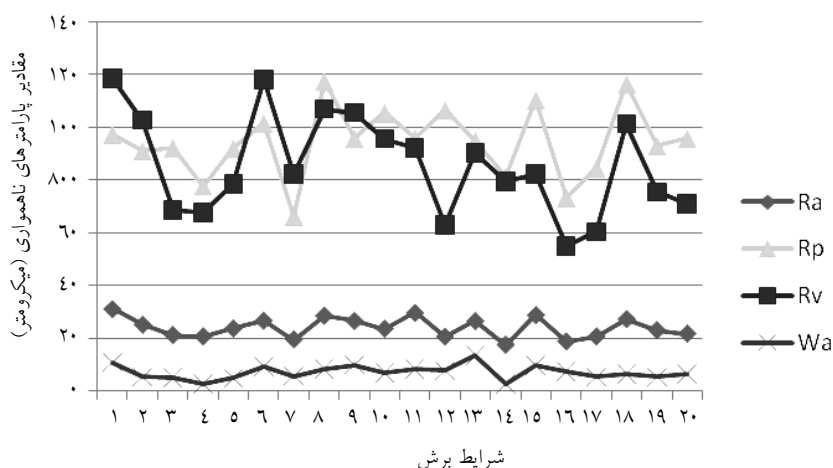
## نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری ناهمواری سطح در ضخامت نمونه‌ها در دو لایه سطحی و مغزی، به صورت نمودار در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است:



شکل ۳- مقادیر پارامترهای ناهمواری سطح در لایه سطحی.

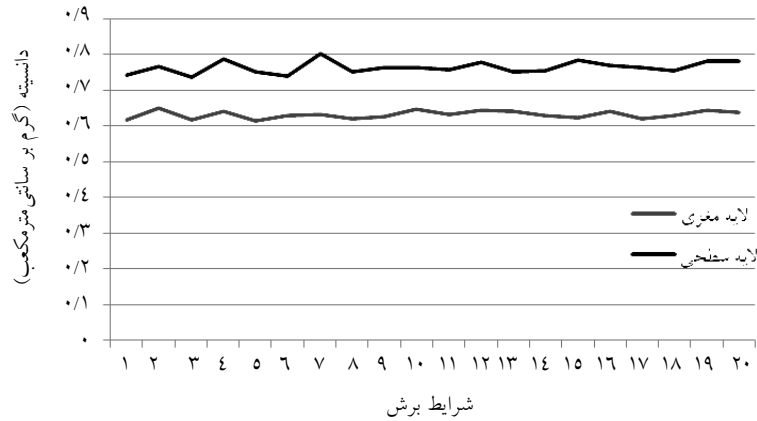
## 1. Fractional Factorial



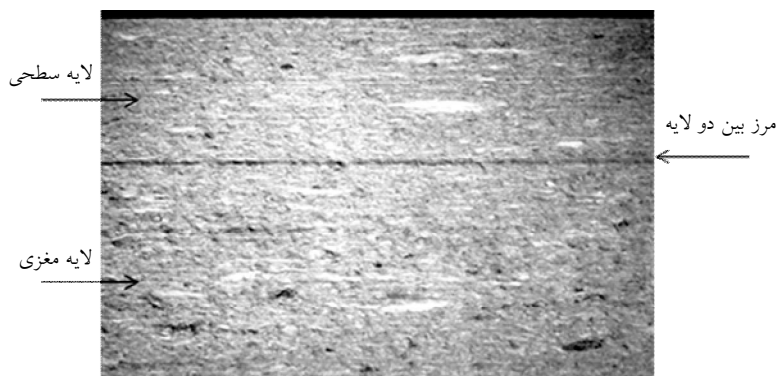
شکل ۴- مقادیر پارامترهای ناهمواری سطح در لایه مغزی.

اثر عوامل متغیر بر پارامترهای ناهمواری سطح لبه نمونه‌ها در لایه سطحی: بررسی نتایج آنالیز آماری و نمودارهای مربوط به پارامترهای ناهمواری سطح لبه نمونه‌ها در لایه سطحی نشان دادند که هیچ‌یک از فاکتورهای مطالعاتی، اثر معنی‌داری بر پارامترهای ناهمواری سطح ندارد. بین دانسیته لایه سطحی و مغزی اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد مشاهده شد. متوسط دانسیته در لایه سطحی  $0.76 \text{ gr/cm}^3$  و در لایه مغزی  $0.63 \text{ gr/cm}^3$  محاسبه شد. دانسیته لایه سطحی،  $20/63$  درصد بیشتر از دانسیته لایه مغزی است؛ بنابراین به دلیل بالا بودن دانسیته لایه سطحی، مقادیر پارامترهای ناهمواری سطح در این لایه بسیار کمتر بوده و این لایه از کیفیت مناسبی برخوردار است. در واقع لایه سطحی به دلیل بالا بودن دانسیته، در مقابل تغییر شرایط برش مقاومت خوبی داشته و دارای سطحی مناسب‌تر است. شکل ۵، دانسیته لایه سطحی و مغزی در شرایط مختلف برش و شکل ۶ اختلاف دانسیته و کیفیت سطح در ضخامت تخته در دو لایه سطحی و مغزی را نشان می‌دهد.





شکل ۵- دانسیته لایه سطحی و مغزی در شرایط مختلف برش.

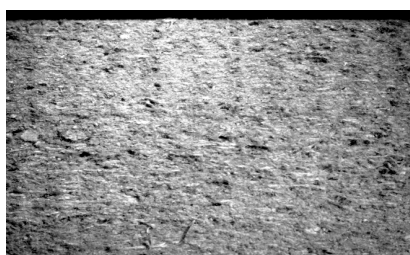


شکل ۶- اختلاف دانسیته و کیفیت لایه سطحی و مغزی در ضخامت تخته (۷X).

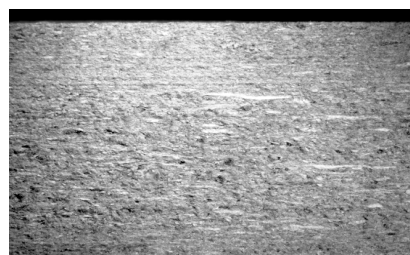
اثرات مستقل عوامل متغیر برش بر پارامترهای ناهمواری سطح لبه نمونه‌ها در لایه مغزی: براساس جدول نتایج آنالیز آماری (جدول ۲) اثر مستقل سرعت چرخشی محور بر پارامترهای  $Wa$  و  $Ra$  در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده و افزایش آن باعث کاهش زبری متوسط ( $Ra$ ) و موج متوسط ( $Wa$ ) می‌گردد. با توجه به رابطه‌های ۲ و ۳، افزایش سرعت چرخشی محور دستگاه باعث کاهش پیشروی هر دندانه و در نتیجه ضخامت پوشال تولیدی می‌گردد. بر اساس پژوهش‌های آگیولرا و همکاران (۲۰۰۰)، ضخامت پوشال فاکتور مؤثری بر کیفیت سطح قطعه ماشین‌کاری شده می‌باشد، در نتیجه کاهش ضخامت پوشال باعث کاهش پارامترهای ناهمواری سطح می‌گردد. هم‌چنین با توجه به جدول نتایج آنالیز آماری، اثر مستقل سرعت تغذیه بر پارامتر  $Ra$  در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده، افزایش آن

باعث افزایش زبری متوسط (Ra) می‌گردد. طبق پژوهش‌های خزاعیان (۲۰۰۵) سرعت پیشروی، یک فاکتور مؤثر بر روی اکثر پارامترهای کیفیت سطح بوده، به‌خصوص در چوب‌های با دانسیته بالا، افزایش سرعت پیشروی باعث افزایش زبری سطح می‌شود. عمق برش هیچ اثر معنی‌داری بر پارامترهای ناهمواری سطح ندارد، اما اثر مستقل روش کار (M) بر پارامتر Rp در لایه مغزی در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. در واقع در هنگام برش همراه، ضخامت پوشال از مقدار ماکزیمم شروع می‌شود و در انتها کاهش می‌یابد، بنابراین پوشال تحت نیروی فشاری از ماده جدا می‌شود که این امر باعث تولید پوشال نوع سوم و در نتیجه ایجاد سطوح پرزدار و در نهایت باعث افزایش پیک (Rp) در پروفیل سطح می‌گردد (خزاعیان، ۲۰۰۵). اثر مستقل جهت برش (Dc) بر پارامتر زبری متوسط (Ra) در لایه مغزی در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. هنگام برش در جهت عمود بر طول تخته، میزان زبری متوسط افزایش یافته است. در واقع هنگام برش عمود بر جهت الیاف، پوشال به شکل یک لایه نازک پیوسته کمتر تولید شده، شکست خمشی (پارگی الیاف) بیشتر اتفاق می‌افتد، بنابراین کیفیت سطح کاهش می‌یابد. البته طبق عکس‌های گرفته شده از سطح MDF مورد استفاده در این پژوهش، الیاف در ساخت تخته جهت‌گیری نشده و به‌صورت اتفاقی آرایش پیدا کرده است؛ اما دسته‌های الیاف و خرده‌های درشت چوب، در جهت طول تخته آرایش پیدا کرده‌اند و از آنجایی‌که ذرات درشت سطح صاف‌تری دارند، بنابراین ناهمواری سطح به‌دلیل وجود ذرات طولی‌تر در این جهت، کاهش می‌یابد. همچنین این موضوع می‌تواند ناشی از حضور حفرات بیش‌تر و توزیع غیریکنواخت چسب و مواد افزودنی در جهت عمود بر طول تخته نیز باشد.

شکل‌های ۷ و ۸ دو سطح ایجاد شده در جهت موازی و عمود بر طول تخته را نشان می‌دهد که تفاوت کیفیت سطح در این دو نمونه کاملاً مشهود است. همچنین وجود ذرات درشت‌تر و طولی‌تر در سطح ایجاد شده در جهت طول تخته قابل مشاهده است.



شکل ۸- برش عمود بر طول تخته  $Ra=31/30 \mu m$  (۷x).



شکل ۷- برش موازی با طول تخته  $Ra=19/15 \mu m$  (۷x).

ابوالقاسم خزاعیان و همکاران

جدول ۲- اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر پارامترهای ناهمواری سطح در لایه مغزی.

Wa موج متوسط		Rv ماکزیمم عمق پروفیل		Rp ماکزیمم ارتفاع پروفیل		Ra زبری متوسط		منبع تغییرات
سطح	اثر	سطح	اثر	سطح	اثر	سطح	اثر	
معنی داری	(P)	معنی داری	(P)	معنی داری	(P)	معنی داری	(P)	
۰/۰۱۶*	-۱/۹۹۲	۰/۱۶۳	-۱۴/۱۳۵	۰/۰۷۷	-۸/۵۱۷	۰/۰۰۸*	-۴/۳۴۸	سرعت چرخشی محور
۰/۵۱۵	۰/۳۰۰	۰/۱۸۵	۱۳/۱۹۲	۰/۱۹۰	۵/۴۲۷	۰/۰۳۶*	۲/۵۳۲	سرعت تغذیه
۰/۵۵۵	۰/۲۷۰	۰/۵۹۳	۴/۵۷۸	۰/۱۷۰	۵/۷۷۰	۰/۱۶۴	۱/۲۸۸	عمق برش
۰/۴۱۴	۰/۳۸۵	۰/۵۹۲	۴/۶۰۰	۰/۰۱۶*	-۱۵/۸۵۸	۰/۳	-۰/۸۷۸	روش کار
۰/۱۰۱	-۰/۹۵۳	۰/۰۹۸	-۱۸/۲۴۸	۰/۰۹۲	-۷/۸۶۵	۰/۰۱۵*	-۳/۵۸۰	جهت برش
۰/۰۱۱*	۲/۲۸۳	۰/۲۰۷	۱۲/۳۱۵	۰/۰۷۸	۸/۴۶۸	۰/۰۳۵*	۲/۵۸۰	سرعت چرخشی محور X سرعت تغذیه
۰/۰۰۵*	-۳/۱۱۲	۰/۶۲۷	۴/۱۵۰	۰/۱۱۱	-۷/۱۹۰	۰/۰۳۱*	-۲/۷۰۵	سرعت چرخشی محور X عمق برش
۰/۷۴۱	۰/۱۴۸	۰/۴۹۷	۵/۹۲۷	۰/۲۵۵	-۴/۵۱۲	۰/۸۲۹	۰/۱۶۵	سرعت چرخشی محور X روش کار
۰/۰۸۰	۱/۰۶۰	۰/۵۹۶	-۴/۵۴۵	۰/۴۹۸	-۲/۴۷۰	۰/۴۷۴	-۰/۵۷۳	سرعت چرخشی محور X جهت برش
۰/۱۵۳	-۰/۷۷۵	۰/۷۷۴	۲/۴۱۳	۰/۷۵۸	-۱/۰۸۵	۰/۷۵۵	۰/۲۴۰	سرعت تغذیه X عمق برش
۰/۰۲۸*	-۱/۶۳۵	۰/۳۴۳	-۸/۶۴۰	۰/۰۷۰	-۸/۸۹۳	۰/۶۲۶	۰/۳۸۰	سرعت تغذیه X روش کار
۰/۰۱۹*	-۱/۸۸۲	۰/۴۷۹	-۶/۱۹۳	۰/۶۶۰	-۱/۵۶۰	۰/۰۳۰*	-۲/۷۳۳	سرعت تغذیه X جهت برش
۰/۶۳۴	-۰/۲۱۵	۰/۳۵۴	-۸/۴۱۰	۰/۰۷۳	-۸/۷۱۰	۰/۰۴۶*	-۲/۳۰۰	عمق برش X روش کار
۰/۰۱۱*	۲/۳۲۳	۰/۱۲۲	۱۶/۴۶۸	۰/۹۰۴	-۰/۴۲۲	۰/۰۸۸	۱/۷۴۸	عمق برش X جهت برش
۰/۳۳۴	۰/۴۶۸	۰/۲۸۲	-۱۰/۰۵۵	۰/۰۸۵	-۸/۱۳۰	۰/۱۶۴	-۱/۲۸۸	روش کار X جهت برش

جدول ۳، میزان و نوع اثرگذاری هر یک از عوامل متغیر برش بر پارامترهای کیفیت سطح را به ترتیب اهمیت نشان می‌دهد. شماره‌گذاری به ترتیب اهمیت از عدد ۱، مؤثرترین عامل بر پارامتر ناهمواری سطح شروع و علامت + و -، اثر مستقیم یا معکوس عامل متغیر را بر پارامترهای سطح، نشان می‌دهد.

جدول ۳- میزان اثرگذاری عوامل متغیر برش بر پارامترهای ناهمواری سطح لایه مغزی.

سرعت تغذیه × محور	سرعت تغذیه	عمق برش	روش کار	جهت برش	سرعت تغذیه	سرعت برش	سرعت تغذیه × عمق برش	سرعت تغذیه × عمق برش × روش کار	سرعت تغذیه × عمق برش × جهت برش	سرعت تغذیه × عمق برش × روش کار × جهت برش
-۱	+۶	-	-	-	-۲	+۵	-۴	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-۴	-	-	-	-	-	+۳	-۱	-	-	+۲

### اثرات متقابل عوامل متغیر برش بر پارامترهای ناهمواری سطح لبه نمونه‌ها در لایه مغزی

اثر متقابل سرعت چرخشی محور دستگاه (N) و سرعت تغذیه (Vf) و همچنین اثر متقابل سرعت چرخشی محور دستگاه و عمق برش (ae)، بر پارامتر زبری متوسط (Ra) و موج متوسط (Wa)، در سطح ۰/۰۵ درصد معنی دار شد. در سرعت تغذیه پایین (-۱)، افزایش سرعت چرخشی محور دستگاه (+۱)، باعث کاهش میزان زبری متوسط سطح و موج سطحی شد. به نظر می‌رسد بر اساس رابطه ۲ در سرعت تغذیه پایین، افزایش سرعت چرخشی محور باعث کاهش بیشتر پیشروی دندان و در نهایت کاهش ناهمواری سطح می‌گردد. پیشروی دندان در این حالت برابر ۰/۳ میلی‌متر محاسبه گردید که می‌تواند میزان مناسبی برای پیشروی دندان منظور گردد.

اثر متقابل سرعت تغذیه (Vf) و روش کار (M) بر موج متوسط (Wa)، در سطح ۰/۰۵ درصد معنی دار شد و در برش همراه افزایش سرعت تغذیه (+۱) باعث افزایش میزان موج متوسط سطح گردید؛ در حالی که تغییرات سرعت تغذیه در برش مقابل، تاثیری بر میزان موج متوسط سطح نداشت. اثر متقابل سرعت تغذیه (Vf) و جهت برش (Dc) بر پارامتر زبری متوسط و موج متوسط (Wa)، در سطح ۰/۰۵ درصد معنی دار شد. در هنگام برش عمود بر طول تخته (-۱)، افزایش سرعت تغذیه (+۱) باعث افزایش ناهمواری سطح می‌گردد؛ در حالی که اثر سرعت تغذیه در هنگام برش موازی با طول تخته، قابل توجه نمی‌باشد.

اثر متقابل عمق برش (ae) و روش کار (M) بر پارامتر زبری متوسط (Ra)، در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار شد. در روش کار همراه (۱-)، افزایش عمق برش (۱+) میزان زبری متوسط را افزایش داد. بنابراین در هنگام برش همراه، عمق برش اثر مشهودتری در خصوص افزایش زبری سطح خواهد داشت. اثر متقابل عمق برش (ae) و جهت برش (Dc) بر پارامتر موج متوسط (Wa)، در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار شد و افزایش عمق برش (۱+) در جهت موازی با طول تخته (۱+) سبب افزایش موج سطحی گردید؛ اما افزایش عمق برش، در جهت عرض تخته (۱-) سبب بهبود کیفیت سطح شد. این پدیده با پژوهش خزاعیان (۲۰۰۵) در چوب ماسیو، مطابقت داشته به این صورت که کاهش ناهمواری سطح در جهت عمود بر الیاف با افزایش عمق برش، ناشی از افزایش حمایت الیاف و مقاومت بیشتر آنها در برابر نیروهای برشی در این جهت گزارش شده است.

به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده، شرایط برشی که منجر به حصول کمترین پارامترهای زبری سطح می‌گردد عبارت است از: سرعت چرخشی ۲۰۰۰ rpm، سرعت پیشروی ۶ m/min و عمق برش ۱ میلی‌متر، همچنین به‌رغم مناسب بودن روش کار همراه در برش چوب ماسیو (کاست، ۲۰۰۱)، روش کار مقابل برای هر دو جهت طولی و عرضی MDF مناسب است. بهتر است در هر دو جهت طولی و عرضی تخته از عمق برش کم استفاده شود، اما در صورت نیاز به عمق برش بالا، جهت عرضی تخته انتخاب گردد. با توجه به شرایط برش یاد شده ضخامت پوشال برابر ۰/۰۶ میلی‌متر و پیشروی دندان ۰/۳ میلی‌متر به‌دست می‌آید. این مقادیر می‌تواند معیار مناسبی برای تنظیم شرایط فرزکاری و حصول کیفیت سطح مناسب باشد.

### منابع

1. Aguilera, A.P., Meausoone, J., and Martin, P. 2000. Wood material influence in routing operation: the MDF case. Holz als Roh-und Werkstoff, 58: 278-283.
2. American society for testing and materials-D2395. 1989. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particleboard panel materials. Annual book of ASTM standards. Vol. 04.09, Philadelphia, Pross, Astm. Pp: 220-334.
3. ASTM-D 1666-87. 1999. Standard method for conducting machining test of wood and wood based material. American society for testing and material.. Annual book of ASTM standards. Vol. 04.09, Philadelphia, Pross, Astm. Pp: 226-245.

4. Costes, J.P. 2001. Approach to high cutting speed process for timioer machining: application to routing. Ph.D. Thesis, university of Toulouse III, 141p.
5. Franz, N.C. 1958. An analysis of the wood cutting process. Ph.D. Thesis. Univ of Michigan Press. Ann Arbor. 152p.
6. Goli, G., Marco, F., Remy, M., and Luca, U. 2009. Up-milling and down-milling wood with different grain orientations-theoretical background and general appearance of the chips. Eur. Journal. Wood Producte. 67: 257-263.
7. International Organization for Standardization 4287/2. 1984. Surface roughness terminology-Part 2. measurement of surface roughness parameters.
8. Khazaeian, A. 2005. 3D Characterization of wood surface quality: measurement strategy, influence of species and machining parameters, Ph.D. Thesis, university of ENGR.
9. Paulo, J., Clements, V.C., and Silva, S. 2007. Surface roughness aspect in milling MDF. International Journal Advance Manufacture Technology. 10:65-77.
10. Wen-Ching, S., and Yiren, W. 2002. Effect of the helix angle of router bits on chip formation and energy consumption during milling of solid wood. Journal of Wood Science. 48:2. 126-131.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 17(1), 2010  
[www.gau.ac.ir/journals](http://www.gau.ac.ir/journals)

## **Investigation on surface quality of MDF edge in peripheral milling process**

**\*A. Khazaeian<sup>1</sup>, Z. Massomi<sup>2</sup> and T. Tabarsa<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>M.Sc. Student, of Wood and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

<sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

### **Abstract**

This research was done in order to investigate the surface quality of MDF edge in peripheral milling process. Non-veneered MDF sheet with 16 mm thickness was cut into 50×50 cm boards. Samples were sawed by CNC milling machine according to ASTM D-1666-87 standard. The machining parameters were: spindle speed of machine in two levels of 12000 and 20000 rpm, feed rate in two levels of 6 and 12 m/min, depth of cut in two levels of 1 and 5 mm. Cutting technique included down and up-milling and cutting directions were in two ways including parallel and perpendicular to MDF axial direction. The edge surface roughness of cut samples in two layers of surface and core (2 and 8 mm from each sample surface), using profilemetry. In order to analyze the surface quality, three roughness parameters including medium roughness (Ra), maximum height on mean line (Rp), maximum depth below the mean line (Rv) and also medium waviness (Wa) were measured. The results showed that the studied factors had no significant effect on surface layer quality in determined levels and the MDF surface layer, due to its high density, showed good resistance to cutting condition and all roughness parameters in this layer were lower than those of core layer. Due to the lower density, core layer reacted to cutting factors variations and had different surface quality in different cutting condition. Except the depth of the cut, other parameters including spindle speed, feed rate, cutting pattern and cutting direction had significant effect on surface quality of core layer. Finally, in order to obtain the best surface quality, spindle speed of 20000 rpm, feed rate of 6 m/min, cutting depth of 1 mm and up-milling pattern for both parallel and perpendicular directions of board is suggested.

**Keywords:** Peripheral milling, Surface quality of MDF edge, CNC milling machine, Cutting condition, Surface roughness

---

\*Corresponding Author; Email: [khazaiean@gmail.com](mailto:khazaiean@gmail.com)

