

## بررسی کیفیت تخته فیبر با دانسیته ی متوسط (MDF) ساخته شده از الیاف بازیافتی به دو روش حرارت دهی اهمیک و هیدروترمال

### چکیده

در این مطالعه تأثیر روش بازیافت بر خواص کاربردی تخته فیبر با دانسیته متوسط<sup>۱</sup> (MDF) مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور بازیافت ضایعات MDF از دو روش بازیافت متفاوت شامل روش هیدروترمال و روش حرارت دهی اهمیک استفاده شد. در مورد روش هیدروترمال پس از انجام پیش‌آزمون در دما و زمان‌های مختلف، بخارزنی در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و با مدت‌زمان ۱۵۰ دقیقه به‌عنوان تیمار پهنه انتخاب شد و در روش اهمیک مدت‌زمان حرارت دهی در دو سطح (۲ دقیقه و ۴ دقیقه) در نظر گرفته شد. اثر بازیافت بر ویژگی‌های مورفولوژیکی الیاف و خواص کاربردی MDF شامل مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت چسبندگی داخلی، قدرت نگهداری پیچ در لبه و سطح و واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، وضعیت رزین باقیمانده روی سطح الیاف توسط تصاویر به‌دست‌آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۲</sup> بررسی شد. بررسی ابعاد الیاف و کلاسه‌بندی آن‌ها نشان داد که فرایند بازیافت منجر به خرد شدن و کاهش طول الیاف می‌شود و روش هیدروترمال در مقایسه با روش حرارت دهی اهمیک به دلیل شدت تیمار حرارتی اثر منفی فراوانی بر کیفیت الیاف داشته است. نتایج مربوط به ویژگی‌های کاربردی تخته‌ها نشان داد که کیفیت تخته‌های ساخته‌شده از الیاف بازیافتی به روش حرارت دهی اهمیک به شکل معنی‌داری بهتر از کیفیت تخته‌های ساخته‌شده از الیاف بازیافتی به روش هیدروترمال است. علاوه بر این، مقایسه‌ی نتایج با مقادیر تعریف‌شده در استاندارد (DIN EN 622-5, 2006) نشان داد که برخلاف تخته‌های ساخته‌شده از الیاف بازیافت شده به روش هیدروترمال، تمامی ویژگی‌های کاربردی تخته‌های بازیافت شده به روش حرارت دهی اهمیک (به‌جز واکنشیدگی ضخامت) در حد ملزومات استاندارد EN است. افزایش مدت‌زمان تیمار حرارتی در روش اهمیک (از ۲ دقیقه به ۴ دقیقه) منجر به بهبود ویژگی‌های کاربردی تخته‌های ساخته‌شده از الیاف بازیافتی شد. تصاویر SEM نشان‌دهنده‌ی وجود مقادیر بیشتری از باقیمانده‌های رزین اوره فرمالدهید گیرا شده روی سطح الیاف بازیافت شده به روش هیدروترمال بود.

**واژگان کلیدی:** تخته فیبر با دانسیته متوسط، بازیافت، هیدروترمال، حرارت دهی اهمیک، کلاسه‌بندی الیاف.

بیبا معزی پور<sup>۱</sup>  
 علی عبدالخانی<sup>۲\*</sup>  
 کاظم دوست حسینی<sup>۳</sup>  
 احمد رضانی سعادت آبادی<sup>۴</sup>  
 اصغر طارمیان<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۳</sup> استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۴</sup> استاد دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

<sup>۵</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:

[Abdolkhani@ut.ac.ir](mailto:Abdolkhani@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۰۸

<sup>1</sup> Medium Density Fiberboard

<sup>2</sup> Scanning Electron Microscopy

## مقدمه

ویژگی‌های مناسب MDF به‌عنوان ماده‌ی اولیه برای صنایع مبلمان منجر به جایگزینی این محصول در بسیاری از کاربردها شده و در حال حاضر ماده‌ی اولیه‌ی اصلی صنعت مبلمان را تشکیل می‌دهد. حجم بالای تولید این محصول منجر به حجم زیاد ضایعات آن شده است و در حال حاضر یکی از مسائل اصلی و حائز اهمیت در این صنعت مدیریت این ضایعات است [۱]. روش‌های متداول برای مدیریت ضایعات صفحات فشرده چوبی سوزاندن و یا دفع آن‌ها به‌عنوان زباله است [۱]. این روش‌ها با مشکلات زیست‌محیطی و فنی همراه هستند. تقابل بین مواد آلی و محیط‌زیست منجر به مشکلات بسیار پیچیده‌ای می‌شود. چسب‌های شسته شده از پانل‌های چوبی موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شوند. به‌علاوه، تخریب بیولوژیکی این مواد منجر به تشکیل متان می‌شود که باعث تشدید اثر گازهای گلخانه‌ای در حدود ۸۰ مرتبه بیشتر از دی‌اکسید کربن می‌شود [۱]. در صورتی که مواد چوبی بازیافت شده به چرخه تولید بازگردند، نیاز به منابع چوبی بکر کاهش یافته، موجب برگشت سرمایه و صرفه اقتصادی می‌شود و از آلودگی محیط‌زیست و پراکنده شدن ضایعات در محیط جلوگیری می‌شود. بنابراین، بازیافت فرآورده‌های چوبی امری ضروری و غیرقابل انکار است. با توجه به این که رزین متداول مورد استفاده در ساخت MDF اوره فرمالدهید یا ملامین اوره فرمالدهید است، هدف از بازیافت ضایعات آن، بازیافت فیبر است و نه چسب مورد استفاده در ساخت آن؛ چراکه بعد از پلی‌مریزاسیون<sup>۱</sup>، رزین‌های ترموست<sup>۲</sup> سخت و شکننده می‌شوند و امکان فعال کردن مجدد خاصیت چسبندگی و بازیافت این نوع رزین‌ها وجود ندارد. معمولاً برای آزاد ساختن الیاف از ماتریس رزین باید اتصالات رزین شکسته شود. با توجه به حساسیت رزین به رطوبت و حرارت، از قرار دادن ضایعات MDF در معرض این دو عامل می‌توان به‌عنوان راهکاری برای تخریب اتصالات و بازیافت الیاف استفاده کرد. آنچه حائز اهمیت است دستیابی به روشی عملی است که قابلیت اجرا در صنعت را داشته باشد، مصرف انرژی آن کم باشد، سریع

باشد و در ضمن، کیفیت الیاف به‌دست‌آمده مناسب و قابل‌مقایسه با الیاف اولیه باشد. در حال حاضر روش هیدروترمال<sup>۳</sup>، متداول‌ترین روش بازیافت الیاف است، که طی آن الیاف با استفاده از تیمار بخار و دفیبراسیون بازیافت و در ساخت تخته مورد استفاده قرار می‌گیرند [۷-۱۲].

فرایند حرارت دهی اهمیک<sup>۴</sup> یکی از روش‌های حرارت دهی حجمی است. در روش‌های حرارت دهی حجمی گرما مستقیماً در داخل خود ماده تولید می‌شود و از طریق گرادیان دمایی یا سطوح داغ منتقل نمی‌شود. در روش‌های حرارت دهی حجمی، ایجاد حرارت سریع‌تر و یکنواخت‌تر است. انرژی مستقیماً هدایت می‌شود و دواستدار محیط‌زیست هستند.

روش حرارت دهی اهمیک در تحقیقات متعددی در صنایع غذایی مورد استفاده قرار گرفته است [۸]. Bartlett و New (۲۰۱۲) از روش حرارت دهی اهمیک برای بازیافت ضایعات ام دی اف استفاده کردند و با استفاده از این روش الیاف با کیفیت مناسب به دست آوردند [۹]. اساس کار در حرارت دهی اهمیک بر مبنای حضور یون‌ها و انتقال جریان الکتریکی به‌واسطه آن‌هاست [۸]. با توجه به سرعت انتقال حرارت، به نظر می‌رسد استفاده از این روش به‌طور مؤثری نسبت به روش متداول حرارت دهی با بخار یا آب می‌تواند سبب تخریب اتصال چسب بین الیاف و جداسازی آن‌ها از یکدیگر شود. در این تحقیق به‌منظور بررسی کارایی روش اهمیک در بازیافت ضایعات MDF، عملیات بازیافت به دو روش حرارت دهی اهمیک و روش متداول بازیافت (روش هیدروترمال) انجام شد و کیفیت الیاف و تخته‌های ساخته شده مورد مقایسه قرار گرفتند.

## مواد و روش‌ها

## مواد

به‌منظور انجام این تحقیق، ضایعات حاصل از کناره‌بری پانل‌های MDF و الیاف بکر مورد استفاده در این کارخانه (به‌منظور مقایسه با الیاف بازیافتی) از کارخانه‌ی

<sup>3</sup> Hydrothermal

<sup>4</sup> Ohmic heating

<sup>1</sup> Polymerization

<sup>2</sup> Thermoset

الیاف بکر و بازیافتی با استفاده از دستگاه 5510 - JEOL ساخت کارخانه‌ی JEOL در دانشگاه شهید بهشتی تهیه گردید. برای جلوگیری از شارژ، تمام نمونه‌ها با طلا پوشش داده شدند.

### ساخت تخته‌ها

الیاف حاصل از این دو فرایند ابتدا در هوای آزاد و سپس در آون تا رطوبت متوسط ۳-۴٪ خشک شدند. تخته‌های MDF مورد مطالعه در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از یک پرس گرم از نوع Burkle - LA۱۶۰ با ابعاد ۳۵۰×۳۵۰×۱۶ میلی‌متر و با دانسیته  $0.7 \text{ g/cm}^3$  ساخته شدند و سپس به مدت ۱۴ روز در اتاق متعادل‌سازی رطوبت (کلیما) قرار گرفتند. پرس گرم با فشار ۳۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه استفاده شد.

### اندازه‌گیری ویژگی‌های کاربردی تخته‌ها

مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته ی تخته‌ها بر اساس استاندارد EN310، مقاومت چسبندگی داخلی بر اساس استاندارد EN319 و قدرت نگهداری پیچ در لبه و سطح بر اساس استاندارد EN 320 اندازه‌گیری شدند. هم‌چنین واکنش‌پذیری ضخامت بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب تخته‌ها طبق استاندارد EN 317 اندازه‌گیری شد.

در این تحقیق از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد و مقایسه‌ی میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن صورت گرفت. اثر نوع روش بازیافت بر خواص مورد مطالعه در سطح یک و پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

پارس نتوپان تهیه‌شده و به آزمایشگاه فراورده‌های مرکب چوبی گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران منتقل شدند. ضایعات به قطعات کوچک‌تر برش خورده و سپس به شکل چیپس خرد شدند. برای چسباندن الیاف به‌منظور ساخت تخته‌ها از رزین مایع تجاری اوره فرمالدهید با مقدار مواد جامد ۶۵٪ استفاده شد که با نسبت ۱۲٪ (وزن خشک چسب) به کار رفت. هاردنر<sup>۱</sup> کلرور آمونیوم در حد ۱٫۵٪ وزن خشک چسب استفاده شد.

### حرارت دهی هیدروترمال

به‌منظور بازیافت به روش هیدروترمال قطعات خردشده‌ی ضایعات، توسط دستگاه بخارزن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۵۰ دقیقه بخارزنی شده و پس‌از آن الیاف به کمک دستگاه دفیبراتور جداسازی شدند.

### حرارت دهی اهمیک

به‌منظور بازیافت به روش حرارت دهی اهمیک قطعات خردشده‌ی ضایعات، ابتدا در آب گرم پیش حرارت دهی شده و سپس در دستگاه گرم‌کننده‌ی<sup>۲</sup> اهمیک که به‌منظور بازیافت ضایعات MDF در مقیاس آزمایشگاهی، طراحی و ساخته‌شده (شکل شماره ۱) (در دو زمان ۲ و ۴ دقیقه) تحت حرارت دهی اهمیک قرار گرفتند.

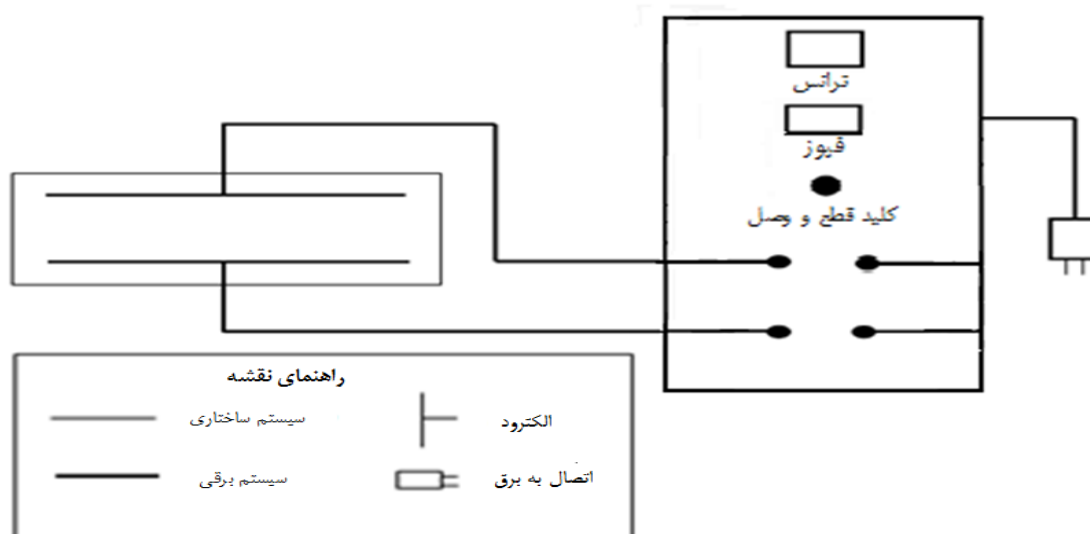
### بررسی ویژگی‌های الیاف

اندازه‌گیری طول، قطر و ضریب کشیدگی الیاف از طریق تصویربرداری از ۲۰۰ نمونه از هر گروه از الیاف انجام شد تصاویر به‌دست‌آمده از میکروسکوپ دیجیتالی Dino capture توسط نرم‌افزار image مورد بررسی قرار گرفتند و طول و قطر الیاف اندازه‌گیری شدند. برای کلاسه‌بندی الیاف به روش صنعتی نیز از دستگاه Fiber size analyzer B6, Sonic filter VU 100 موجود در کارخانه‌ی آراین سینا استفاده شد. این دستگاه دارای شش عدد الک با مش‌های ۱۰، ۱۶، ۳۵، ۷۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ است. برای بررسی وضعیت رزین باقیمانده روی الیاف پس از بازیافت، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM<sup>۳</sup>) از

<sup>1</sup> hardner

<sup>2</sup> heater

<sup>3</sup> Emission Scanning Electron Microscope



شکل ۱- تصویر شماتیک دستگاه حرارت دهی اهمیک ساخته شده در مقیاس آزمایشگاهی

## نتایج و بحث

### تأثیر روش بازیافت بر ویژگی های الیاف بازیافت

شده

نتایج مربوط به کلاسه بندی الیاف در جدول شماره ۱ ارائه شده است. در مورد الیاف بازیافتی در مقایسه با نمونه های الیاف بکر درصد بیشتری از الیاف در گروه ۰/۰۹ میلی متر قرار گرفته اند که به این معناست که فرایند بازیافت منجر به کاهش چشم گیر در ابعاد الیاف و ایجاد نرمة می شود. کاهش ابعاد الیاف می تواند بعضی ویژگی های مکانیکی پانل ها (به ویژه مدول الاستیسیته) را کاهش دهد [۳]. علاوه بر این درصد بیشتری از الیاف بازیافت شده به روش حرارت دهی اهمیک در مقایسه با الیاف بازیافت شده

به روش هیدروترمال در گروه ۱/۲۴ میلی متر قرار می گیرند که دلیل آن حذف مرحله ی دفیبراسیون و آسیب کمتر به الیاف در روش حرارت دهی اهمیک است. هم چنین بین دو تیمار حرارت دهی اهمیک در مدت زمان ۲ و ۴ دقیقه تفاوتی در طول الیاف بازیافتی به دست آمده مشاهده نمی شود. گروه بندی الیافی که در کارخانه ی آراین سینا به عنوان فیبر استاندارد مورداستفاده قرار می گیرد نیز در جدول ۱ به عنوان معیاری برای سنجش آورده شده است. با توجه به این اعداد، مقدار نرمة الیاف (الیاف با طول ۰/۰۹ میلی متر) بازیافت شده به روش هیدروترمال بیشتر از مقدار استاندارد مورداستفاده در کارخانه است.

جدول ۱- گروه بندی الیاف بکر و بازیافت شده

گروه بندی الیاف			نوع الیاف
۰/۰۹mm	۰/۲۲mm	۱/۲۴mm	
٪۲۵/۵۸	٪۳۶/۲۷	٪۳۸/۱۶	الیاف بکر
٪۴۳/۰۷	٪۳۴/۵۵	٪۲۲/۳۸	الیاف بازیافت شده به روش هیدروترمال
٪۳۵/۳۷	٪۳۵/۸۱	٪۲۸/۸۲	الیاف بازیافتی به روش اهمیک (۲ دقیقه)
٪۳۵/۳۷	٪۳۵/۸۱	٪۲۸/۸۲	الیاف بازیافتی به روش اهمیک (۴ دقیقه)
زیر ٪۳۵	بالای ٪۳۰	زیر ٪۳۵	الیاف استاندارد کارخانه

فراوانی داشته و این کاهش طول در روش هیدروترمال بیشتر از روش حرارت دهی اهمیک است. ضریب کشیدگی الیاف نقش مهمی در مدول الاستیسیته، مقاومت خمشی و

جدول شماره ی ۲ نتایج مربوط به میانگین طول، قطر و ضریب کشیدگی الیاف بکر و بازیافتی را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که طول الیاف پس از بازیافت، کاهش

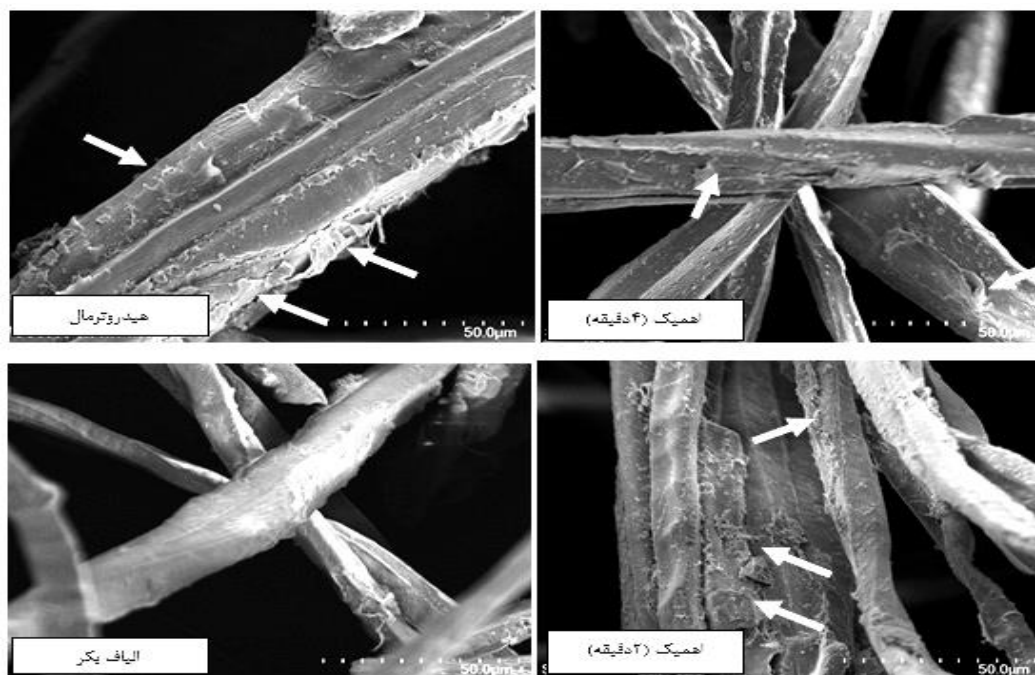
واکسیدگی ضخامت تخته‌های ساخته‌شده دارد که این ضریب در الیاف بکر بیشتر از الیاف بازیافتی بوده و الیاف ضریب کمترین ضریب کشیدگی را نشان می‌دهند.

جدول ۲- طول، قطر و ضریب کشیدگی الیاف بکر و بازیافتی

نوع الیاف	طول (mm)	قطر (mm)	l/d
الیاف بکر	۴/۳	۰/۵۱	۸/۴۳
الیاف بازیافتی به روش هیدروترمال	۱/۵۱	۰/۴۷	۳/۲۱
الیاف بازیافتی به روش اهمیک (۲ دقیقه)	۲/۵۴	۰/۴۳	۵/۹
الیاف بازیافتی به روش اهمیک (۴ دقیقه)	۲/۵۸	۰/۴۲	۶/۱۴

سطح الیاف بکر و الیاف بازیافت شده به روش‌های مختلف بررسی شد (شکل ۲).

وضعیت رزین باقی‌مانده روی الیاف پس از بازیافت، توسط تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تهیه‌شده از



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) الیاف بکر و بازیافتی (وجود بقایای رزین سخت شده روی الیاف بازیافتی توسط فلش نشان داده شده است)

علت آن اثر منفی باقی‌مانده‌های رزین روی چسب زنی یکنواخت الیاف و ایجاد اختلال در اتصال بین الیاف است [۴].

#### تأثیر روش بازیافت بر ویژگی‌های کاربردی تخته‌ها

نتایج مربوط به تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌های بازیافت شده در جدول ۳ ارائه شده و

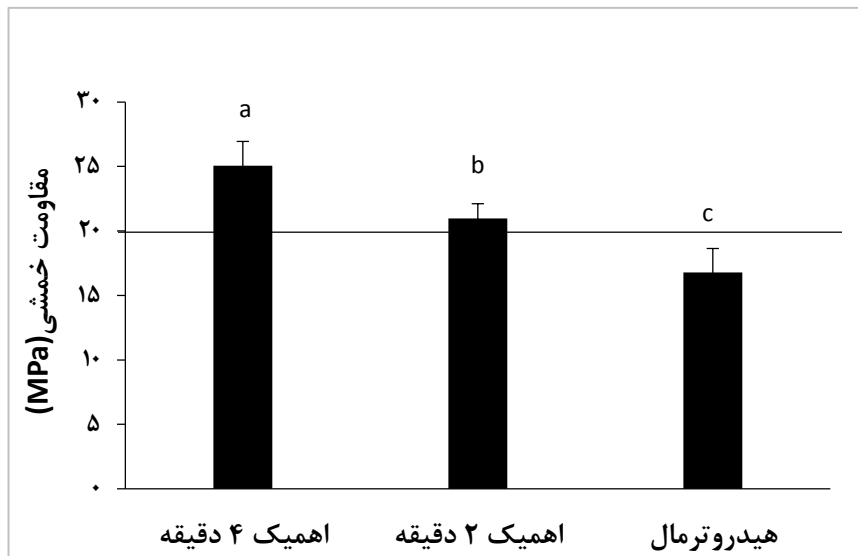
همان‌طور که در شکل ۲ توسط فلش‌ها مشخص شده، در سطح الیاف بازیافت شده به روش هیدروترمال آثار رزین باقی‌مانده به شکل فراوانی مشاهده می‌شود. وضعیت سطح الیاف بازیافت شده به روش حرارت دهی اهمیک در مدت ۴ دقیقه بیشترین شباهت را به وضعیت سطح الیاف بکر دارد که نشان‌دهنده‌ی حذف بقایای رزین از سطح الیاف در این روش است. وجود رزین باقی‌مانده روی الیاف از جمله دلایل افت کیفیت تخته‌های بازیافت شده است که

لبه و سطح و مقاومت چسبندگی داخلی) در مورد سایر ویژگی‌ها ملزومات استاندارد EN را رعایت نمی‌کنند. نتایج تحقیقات سایر محققین نیز نشان می‌دهد که استفاده از روش هیدروترمال برای بازیافت ضایعات MDF منجر به افت مقاومت خمشی، مدول الاستیسته و افزایش واکنشیدگی ضخامت تخته‌های بازیافتی می‌شود [۶-۷، ۲]. کاهش ویژگی‌های مکانیکی می‌تواند عمدتاً به تجزیه‌ی حرارتی چوب در حین تیمار هیدروترمال مربوط باشد به‌علاوه عوامل دیگر از جمله کاهش چشم‌گیر ابعاد، شاخه‌دار شدن الیاف و بقایای رزین سخت شده روی سطح الیاف می‌توانند اثر منفی روی ویژگی‌های تخته‌های بازیافتی به این روش داشته باشد [۱۱، ۵، ۳، ۲]. علت برتری ویژگی‌های مکانیکی تخته‌های بازیافت شده به روش اهمیک نسبت به روش هیدروترمال، آسیب کمتر به الیاف در حین فرایند بازیافت و ابعاد مناسب‌تر الیاف (جدول ۱ و ۲) است.

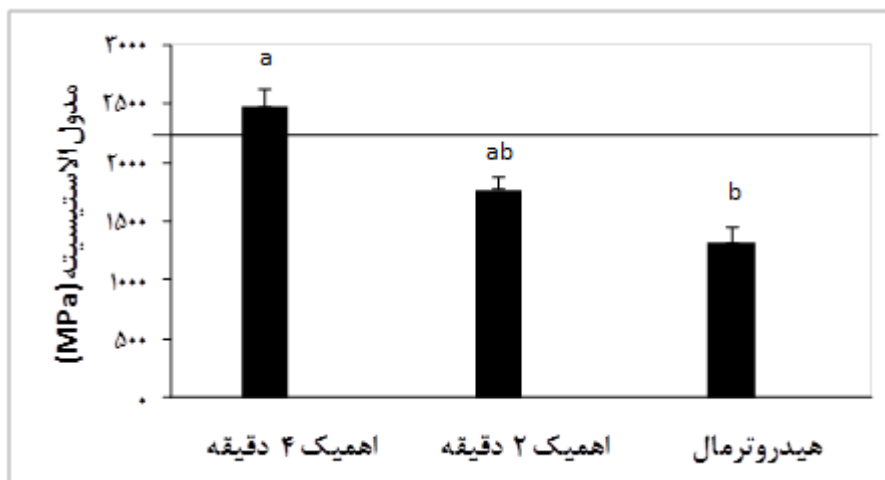
نتایج مربوط به مقایسه‌ی میانگین این ویژگی‌ها و گروه‌بندی دانکن در شکل‌های شماره‌ی ۳ تا ۷ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر روش بازیافت بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌های بازیافت شده معنی‌دار است. نتایج ارائه شده در شکل‌های ۳ تا ۷ نشان می‌دهد که بازیافت ضایعات MDF به روش اهمیک (مخصوصاً در مدت‌زمان ۴ دقیقه) برخلاف روش هیدروترمال منجر به ساخت تخته‌های با کیفیت مناسب می‌شود. چسبندگی داخلی، مقاومت خمشی و مدول الاستیسته تخته‌های بازیافت شده به روش اهمیک به شکل فراوانی بیشتر از تخته‌های بازیافت شده به روش هیدروترمال است، هم‌چنین مقایسه‌ی نتایج با مقادیر تعیین شده در استاندارد (جدول شماره ۴)، نشان می‌دهد که تخته‌های بازیافت شده به روش اهمیک ویژگی‌هایی در محدوده‌ی استاندارد داشته‌اند درحالی‌که تخته‌های بازیافت شده به روش هیدروترمال (به‌جز قدرت نگهداری پیچ در

جدول ۳ - تجزیه واریانس تأثیر روش بازیافت بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌های ام دی اف بازیافت شده

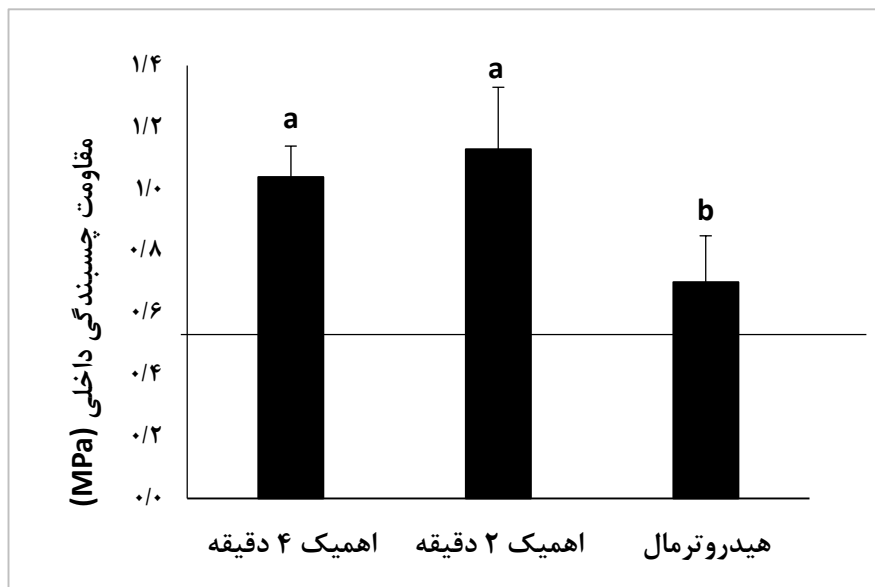
Sig	F	میانگین مربعات	df	ویژگی‌ها
۰/۰۰۱	۹/۳۵	۱۶۹/۳۷	۲	مقاومت خمشی (بین گروه‌ها)
-	-	۱۵/۹۱	۳۰	داخل گروه‌ها
-	-	-	۳۲	کل
۰/۰۰۴	۶/۵۳	۵۷۹۱۹۵/۷۱	۲	مدول الاستیسته (بین گروه‌ها)
-	-	۸۸۶۵۱/۰۹۴	۳۰	داخل گروه‌ها
-	-	-	۳۲	کل
۰/۰۰۰	۱۴/۰۸	۰/۵۷۸	۲	چسبندگی داخلی (بین گروه‌ها)
-	-	۰/۰۴۱	۳۰	داخل گروه‌ها
-	-	-	۳۲	کل
۰/۰۰۲	۷/۵۹	۰/۱۸۱	۲	قدرت نگهداری پیچ در لبه (بین گروه‌ها)
-	-	۰/۰۲۴	۳۰	داخل گروه‌ها
-	-	-	۳۲	کل
۰/۰۰۰	۱۳/۷۸	۰/۳۴۷	۲	قدرت نگهداری پیچ در سطح (بین گروه‌ها)
-	-	۰/۰۲۵	۳۰	داخل گروه‌ها
-	-	-	۳۲	کل
۰/۰۰۰	۱۲/۶۴	۱۲۸/۸۸۱	۲	واکنشیدگی ضخامت پس از ۲۴ ساعت (بین گروه‌ها)
-	-	۱۰/۱۹۴	۳۰	داخل گروه‌ها
-	-	-	۳۲	کل



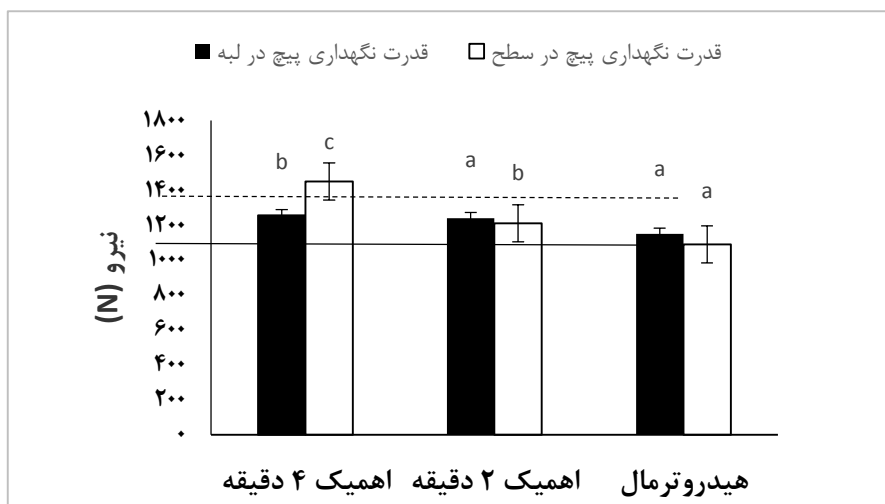
شکل ۳- مقاومت خمشی تخته‌های ساخته‌شده از الیاف بازیافت شده به روش‌های مختلف (خط افقی نشان‌دهنده مقدار قابل قبول این ویژگی در استاندارد EN 310 است).



شکل ۴- مدول الاستیسیته ی تخته‌های ساخته‌شده از الیاف بازیافت شده به روش‌های مختلف (خط افقی نشان‌دهنده مقدار قابل قبول این ویژگی در استاندارد EN 310 است).



شکل ۵- چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته شده از الیاف بازیافت شده به روش‌های مختلف (خط افقی نشان‌دهنده‌ی مقدار قابل قبول این ویژگی در استاندارد EN 319 است.)

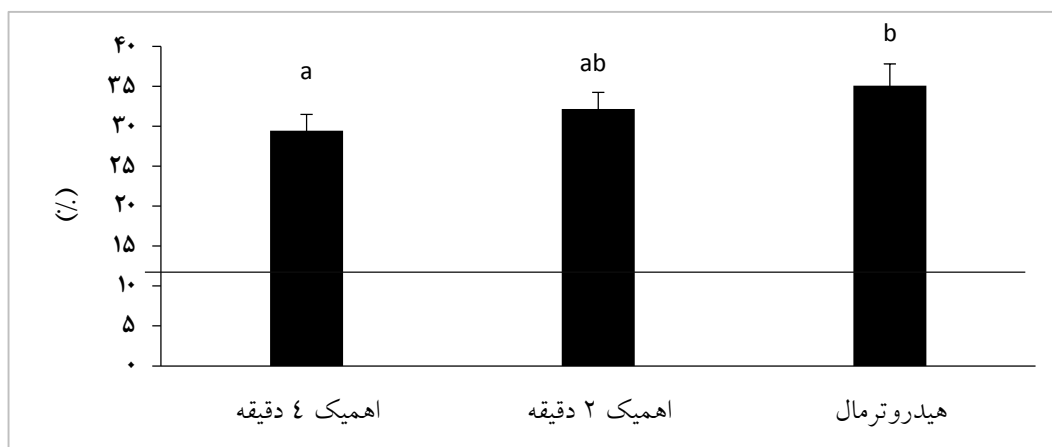


شکل ۶- قدرت نگهداری پیچ در لبه و سطح تخته‌های ساخته شده از الیاف بازیافت شده به روش‌های مختلف (خطوط افقی نشان‌دهنده مقدار قابل قبول این ویژگی‌ها در استاندارد EN 320 است. خط چین: قدرت نگهداری پیچ در سطح، خط مشکی: قدرت نگهداری پیچ در لبه)

که علت آن می‌تواند انحلال لیگنین سطحی الیاف پسماند در اثر تیمار حرارتی و افزایش درصد شکستگی الیاف باشد [۲۵]. لذا با توجه به این امر استفاده از پارافین، جهت کاهش واکسیدگی ضخامت تخته‌های MDF پیشنهاد می‌گردد. تیمار حرارتی شدیدتر در روش هیدروترمال نسبت به روش حرارت دهی اهمیت منجر به افزایش رطوبت پذیری شده است.

واکسیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب تخته‌های بازیافت شده به روش هیدروترمال به شکل معنی‌داری بیشتر از مقادیر به دست آمده در مورد تخته‌های بازیافت شده به روش اهمیت است (شکل ۷). مقایسه‌ی نتایج با مقادیر استاندارد (جدول ۴) نشان می‌دهد که واکسیدگی ضخامت تخته‌های بازیافت شده به هر دو روش اهمیت و هیدروترمال خارج از محدوده‌ی استاندارد است





شکل ۷- واكشیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب تخته‌های ساخته‌شده از الیاف بازیافت شده به روش‌های مختلف (خط افقی نشان‌دهنده‌ی مقدار قابل قبول این ویژگی در استاندارد EN 317 است).

جدول ۴- مقادیر استاندارد ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته فیبر با دانسیته متوسط

ویژگی و استاندارد مربوطه	واحد	مقدار استاندارد در ضخامت ۱۲ تا ۱۹ میلی‌متر
چسبندگی داخلی EN 319	N/mm <sup>2</sup>	۰/۵۵
مقاومت خمشی EN 310	N/mm <sup>2</sup>	۲۰
مدول الاستیسیته EN 310	N/mm <sup>2</sup>	۲۲۰۰
واكشیدگی ضخامت ۲۴ ساعته EN317	(%)	۱۲
قدرت نگهداری پیچ در سطح EN 320	(N)	۱۰۸۰
قدرت نگهداری پیچ در لبه EN 320	(N)	۹۰۰

## نتیجه‌گیری

اهمیک روشی دوستدار محیط‌زیست است که انرژی الکتریکی را با بازده بالای ۹۵٪ به انرژی حرارتی تبدیل می‌کند. سرعت عمل این روش بالاست و به دلیل حرارت دهی از نوع حجمی آسیب کمتری به الیاف وارد می‌کند. با توجه به این‌که استفاده از این روش تخته‌های بازیافتی با کیفیت در محدوده‌ی استاندارد را به دست می‌دهد می‌توان گفت روش کارآمد و مناسبی برای بازیافت ضایعات MDF است. در ضمن الیاف بازیافت شده از این روش می‌توانند بدون نیاز به ترکیب با الیاف بکر استفاده شوند و بنابراین می‌توان گفت جایگزین مناسبی برای الیاف بکر مورد استفاده در کارخانه‌های تولیدکننده‌ی MDF می‌باشند.

تخته‌های MDF بازیافت شده از الیاف به‌دست‌آمده از روش حرارت دهی اهمیت کیفیت بهتر (مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی و قدرت نگهداری پیچ بیشتر و واكشیدگی ضخامت کمتر) نسبت به تخته‌های بازیافت شده به روش هیدروترمال داشتند. در میان دو روش حرارت دهی اهمیت، تیمار حرارتی طولانی‌تر (مدت زمان ۴ دقیقه) تخته‌هایی با کیفیت بهتر را ارائه می‌دهند. مقایسه‌ی نتایج با استاندارد EN نشان می‌دهد که تخته‌های ساخته‌شده به روش حرارت دهی اهمیت ملزومات استاندارد را رعایت می‌کنند اما برخی ویژگی‌های تخته‌های بازیافت شده به روش هیدروترمال خارج از محدوده‌ی استاندارد می‌باشند. روش حرارت دهی

- [1] Athanassiadou, E., Roffael, E. and Mantanis, G., 2005. Medium Density Fibreboards (MDF) from Recycled Fibres. *Bioresources Journal*, 22:1-9.
- [2] Moradikia, S., Doosthoseini, K. and Jahan Latibari, A., 2005. Investigation on possibility of utilization of MDF residues in its manufacturing process. *Journal of the Iranian Natural Resources*, 61(2):453-463. (In Persian).
- [3] Dix, B., Schafer, M. and Roffael, E., 2001. Using fibers from waste fiberboards pulped by a thermo-chemical process to produce medium density fiberboard (MDF). *Holz als Roh und Werkstoff*, 59(4):276-276.
- [4] Mantanis, G., Athanassiadou, E., Nakos, P. and Coutinho, A., 2004. A new recycling process for waste panels. In *processing of European Countries Conference about Management of recovered wood*. 22-24 April, Thessaloniki, Greece: p 204-210.
- [5] Lykidis, C.H. and Grigoriou, A., 2008. Hydrothermal recycling of waste and performance of recycled wooden particleboard. *Waste management Journal*, 28: 57-63.
- [6] Roffael, E., Dix, B., Behn, C. and Bar, G., 2009. Chemical properties of TMP and CTMP prepared from pine wood and UF-bonded medium density fibreboards (MDF). *European Journal of wood products*, 67:113-115.
- [7] Nicewics, D. and Leszek, D., 2010. Recycling of insulation boards by reuse. *Journal of Forestry and Wood Technology*, 72: 57-61.
- [8] Zandi, M. and Niakousari, M., 2012. An investigation in to corrosion and ions migration from electrodes into food in an ohmic heating system. *Journal of Wood Science and Technology*, 36(9): 47-54. (In Persian).
- [9] Bartlett, C. and New, J., 2012. Electrical heating for recycling of MDF. *Wood Research Journal*, 22 (5): 12-18.
- [10] Roffael, E. and Huster, H.G., 2012. Complex chemical interactions on thermo hydrolytic degradation of urea formaldehyde resins (UF – resins) in recycling UF – bonded boards. *European Journal of wood products*, 70 : 401-405.
- [11] Michanickl, A. and Boehme, C., 2003. Method for recovering chips and fibers of bonded wood materials involves passing of steam through a vessel with such materials which have been soaked with a heated impregnation solution. Patent, DE10144793, WO03026859.

## Investigation the quality of recycled medium density fiber boards via two different method i.e. hydrothermal and ohmic heating

### Abstract

In this study, recycled fibers from hydrothermal and ohmic heating were used to manufacture medium density fiberboard (MDF). The purpose of this study was to determine the effect of recycling method on practical properties (bending strength, modulus of elasticity, internal bonding and screw holding in edge and surface and thickness swelling after 24-hour immersion in water) of the boards. In addition, a morphological analysis was done to evaluate the influence of recycling process on fiber dimensions. The results of classification and dimension analysis of fibers confirmed the negative influence of recycling process on quality of fibers. Moreover, fiber deformation in hydrothermal recycling was higher than that of ohmic recycling due to sever condition of heating. Physical and mechanical properties of boards made with ohmic heated fibers were better compared to the hydrothermal method. Overall results showed that MDF panels made from recycled fibers via ohmic heating method exceed the minimum values required by EN standards (EN 622-5, 2006) for all properties but thickness swelling. Increasing the time of ohmic heating led to an improvement in practical properties of recycled MDF boards. It was observed by SEM that much more residues of cured UF resin adhesive were existed on the surface of recycled fibers via hydrothermal method.

**Keywords:** medium density fiberboard, recycling, hydrothermal treatment, ohmic heating, fiber classification.

**B. Moezzi pour<sup>1</sup>**  
**A. Abdolkhani<sup>2\*</sup>**  
**K. Doost hoseini<sup>3</sup>**  
**A. Ramazani Saadat abadi<sup>4</sup>**  
**A. Tarmian<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Ph.D. Student of wood industry, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>2</sup> Associate Prof., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup> Professor, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>4</sup> Professor, Department of chemical and petroleum engineering, Sharif university of technology, Tehran, Iran

<sup>5</sup> Associate Prof., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:  
[Abdolkhani@ut.ac.ir](mailto:Abdolkhani@ut.ac.ir)

Received: 2016/02/07  
Accepted: 2016/05/28