مطالعه گرادیان دانسیته در سه نوع تخته فیبر با دانسیته متوسط (MDF) مورد مصرف در ایران

سعید کاظمی نجفی[۱] ، علی شالبافان[۲] و مجید چهارمحالی[۲]

چکیده

گرادیان دانسیته در سه نوع تخته فیبر با دانسیته متوسط(MDF) رایج و مورد مصرف در بازار داخلی ایران با روش مستقیم (حذف تدریجی لایه ها) اندازه گیری و به همراه مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی، چسبندگی داخلی، درصد جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته ها مورد مطالعه قرار گرفت. تخته های مورد مطالعه از نظر شکل دارای پروفیل دانسیته متقارن و نرمال بودند, ولی در یکی از تخته ها پروفیل عمیق تری مشاهده شد که مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی بیشتری را نشان داد. چسبندگی داخلی نمونه ها اختلاف معنی داری را نشان ندادند.

واژه‌های کلیدی: پروفیل دانسیته، تخته فیبر نیمه سنگین(MDF)، مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی، درصد جذب آب، واکشیدگی ضخامت

۱- استادیار دانشکده منآبع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس Email: skazemi@modares.ac.ir

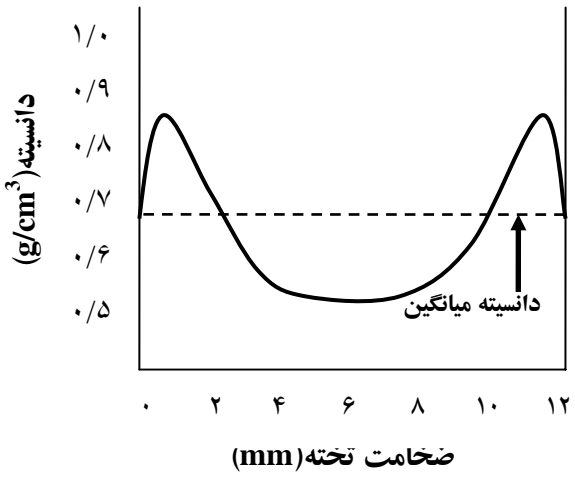
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده منآبع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

تخته فیبر با دانسیته متوسط[1] یا MDF یکی از مواد مرکب چوبی است که بشترین رشد را از نظر تولید و مصرف نسبت به سایر مواد مرکب موجود و قآبل دسترس در بازار مصرف دارد. کاربردهای MDF در بسیاری از زمینه های مصرف نظیر مبلمان، کآبینت آشپزخانه، و مبلمان آماده مونتاژ(RTA)[2] در حال افزایش است. در ایران نیز مصرف این مواد طی چند سال اخیر بسرعت رو به افزایش بوده است و با توجه به استقبال عمومی مصرف کنندگان، احداث چند کارخانه تولید MDF مورد توجه قرار گرفته است که یا به مرحله تولید رسیده اند یا در حال راه اندازی هستند. در حال حاضر انواع تخته های MDF با نام های مختلف(معمولا بر اساس نام کشور تولید کننده) در بازار مصرف موجود می باشد که بخش اعظم انها وارداتی بوده و سهم کوچکی از ان را نیز تولیدات داخل تشکیل می دهد.

یکی از ویژگیهای کلیدی و بسیار مهم MDF، پروفیل دانسیته[3] آن در ضخامت تخته می باشد. پروفیل دانسیته تغییرات دانسیته تخته را در ضخامت تخته شرح می دهد و معمولا U شکل بوده و به صورت دانسیته بالای لایه سطحی و دانسیته پایین لایه مرکزی (مغز) منعکس می‌شود (شکل شماره ۱). به طور کلی پروفیل دانسیته در ضخامت تخته متقارن بوده و صفحه واقع در وسط ضخامت تخته صفحه تقارن پروفیل دانسیته در ضخامت را تشکیل می دهد. معمولا برای پروفیل دانسیته اصطلاحات مختلفی بکار برده می شود که می توان به پروفیل عمودی دانسیته، گرادیان دانسیته، گرادیان عمودی دانسیته و توزیع عمودی دانسیته اشاره نمود(۲).

[1] Medium Density Fiberboard
[2] Ready to assemble furniture
[3] Density profile



شکل شماره ۱- پروفیل دانسیته در MDF

چگونگی شکل گیری پروفیل عمودی دانسیته در مواد مرکب چوبی شامل تخته خرده چوب, OSB, تخته فیبر و MDF به صورت جامع مورد بررسی قرار گرفته است (۱۲-۸، ۱۵) و نتایج نشان می دهد که این شکل گیری از ترکیب واکنش هایی است که در طی دو مرحله در هنگام پرس گرم اتفاق می افتند:۱- مرحله بسته شدن پرس یعنی زمانی که طول می‌کشد تا صفحات گرم پرس به سطح کیک الیاف تماس پیدا کنند تا کیک به ضخامت نهایی برسد. تغییر زمان بسته شدن پرس(سرعت بسته شدن پرس) سبب تغییر پروفیل دانسیته می شود.بسته شدن سریع دهانه پرس باعث می شود تا پروفیل دانسیته عمیق تری بوجود آید.۲- زمانی که بعد از رسیدن کیک الیاف به ضخامت نهایی تا باز شدن پرس طی می شود. از عوامل مهم تاثیرگذار دراین مراحل می‌توان به شکل و قابلیت تراکم پذیری الیاف ، رطوبت و توزیع آن در کیک الیاف، شرایط پرس در هنگام ساخت تخته شامل یکنواختی فشار پرس، زمان و درجه حرارت پرس اشاره نمود.

پروفیل دانسیته با ویژگیهای کاربردی MDF همبستگی زیادی دارد. یک تخته MDF خوب برای چسب خوری، نقاشی، چاپ پذیری، پرداخت، رویهم گذاری و لامینه کردن باید یک پروفیل دانسیته عمیق داشته باشد یعنی دانسیته لایه سطحی آن به طور قآبل ملاحظه ای بیشتر از دانسیته لایه مغزی باشد. لایه مرکزی یکنواخت تخته های MDF آنها را برای منبت کاری، قالب گیری و ماشینکاری مناسب می سازد. دانسیته همسان و یکنواخت در ضخامت تخته MDF ، منتج به اتصال لبه ای بهتر خواهد شد(۹). همچنین پروفیل دانسیته خواص مهمی نظیر واکشیدگی ضخامت، مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی، چسبندگی داخلی(IB) و قدرت نگهداری پیچ و میخ را نیزتحت تاثیر قرار می دهد(۱، ۵، ۱٦-۱٤).

بدلیل ارتباط قوی بین گرادیان دانسیته و خواص MDF ، شناخت آن در MDF برای محققان و تولید کنندگان این مواد اهمیت زیادی دارد و می تواند به عنوان یک عامل مهم کنترل کیفی مورد استفاده قرار گیرد. بدیهی است, عدم وجود یک گرادیان متقارن و نرمال درMDF نشان دهنده کنترل نامناسب متغیرهای فرایند ساخت بوده و باید نسبت به اصلاح آنها اقدام نمود. از طرف دیگر با کنترل متغیر های ساخت می توان تختههایی با پروفیل دانسیته دلخواه و متناسب به نوع مصرف آن تولید نمود. با توجه به انواع MDF های موجود و مورد مصرف در بازار داخلی ایران و اهمیت پروفیل دانسیته، در این تحقیق تعیین نحوه توزیع دانسیته در چند نوع MDF و ارتباط آنها با بعضی ازخواص این تخته ها مورد مطالعه قرار گرفته که نتایج آن می تواند برای مصرف کنندگان این تخته مفید باشد.

مواد و روشها

سه نوع مختلف تخته MDF رایج و مورد مصرف در بازار داخلی برای انجام این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند که مشخصات آنها و کدهای اختصاص داده شده به هر

یک از آنها در جدول شماره ۱ آمده است. از هر نوع تختهMDF یک تخته انتخآب و از هر کدام ٦ نمونه به آبعاد ۵×۵cm تهیه شد. نمونه ها از سه قسمت مختلف تخته ها تهیه شدند.

جدول شماره ۱- مشخصات تخته های مورد مطالعه

کد تخته	کشور سازنده	ضخامت(mm)	رطوبت(٪)
A	ایران	۱۶	۶ ±۱
B	ترکیه	۱۶	۶ ±۱
C	مالزی	۱۶	۶ ±۱

از میان روشهای مستقیم و غیر مستقیمی (مانند روشهای رادیو گرافی با اشعهX و گاما) که برای اندازه گیری و تعیین پروفیل دانسیته وجود دارد(۳، ٤، ٦، ۷، ۱۳)، روش وزنی که یک روش مسقیم می باشد و طی آن دانسیته تخته ها در ضخامت های مختلف با حذف لایه های نازک (به وسیله سمباده یا برداشت لایه های نازک) از آن به صورت متناوب اندازه گیری می شود، برای تعیین پروفیل دانسیته MDF های مورد مطالعه استفاده قرار گرفته است. به طور متناوب لایه ای به ضخامتmm ۰/۷ از نمونه ها حذف، و از طریق تعیین وزن و حجم نمونه باقیمانده، دانسیته لایه حذف شده تعیین و درنهایت پروفیل دانسیته در ضخامت تعیین و رسم گردید. لایه ها به تدریج از سطح یکی از نمونه تا مرکز ان حذف شده ودر نمونه دیگرکه به دقت در همسایگی آن انتخآب شده بود لایه ها از سطح مقآبل حذف تا به مرکز آن برسد. از تلفیق این دو اندازه گیری پروفیل دانسیته رسم شد. دقت اندازه گیری وزن و آبعاد نمونه ها به ترتیب ۰/۰۱± گرم و ۰/۰۱ میلیمتر بوده است.

دانسیته متوسط نمونه ها به دو طریق اندازه گیری شد. روش اول: قبل از حذف لایه ها با تعیین حجم و وزن نمونه، روش دوم: بعد از تعیین پروفیل دانسیته و با استفاده از فرمول زیر(۱۳):

$$D = \sum_{i=1}^{n} D_i / n$$

که D_i دانسیته لایه حذف شده و n تعداد لایه ها می باشد.

برای اندازه گیری مدول الاستیسیته استاتیکی و مدول گسیختگی از آزمون خمش سه نقطه بارگذاری بر اساس استاندارد ASTM آیین نامه D1037-99 استفاده شد. مدول الاستیسیته در جهت موازی با جهت ساخت اندازه گیری شد. همچنین چسبندگی داخلی و واکشیدگی ضخامت نمونه ها بر اساس استاندارد DIN-٦٨٧٦٣ اندازه گیری شد.

جهت بررسی و مقایسه خواص مختلف تخته ها از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه داده ها در قالب طرح کاملا تصادفی در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد. با توجه به وآبستگی این آزمون به توزیع نرمال، قبل از انجام آزمون نحوه پراکنش داده ها با آزمون Shapiro-Wilk بررسی و در صورت لزوم تبدیل داده ها صورت گرفت. در مواردی که تفاوت تیمارهای مختلف مورد مقایسه معنی دار تشخیص داده شد با استفاده از آزمون دانکن مقایسه چند گانه میانگین ها انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که برای تجزیه و تحلیل از نرم افزار SPSS استفاده شد.

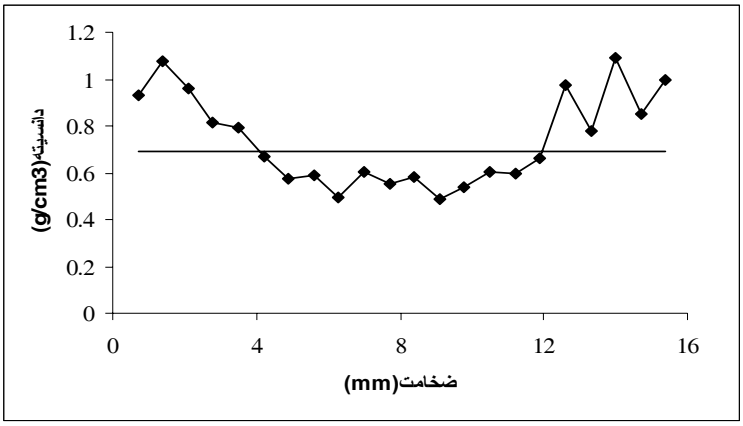
نتایج

پروفیل دانسیته اندازه گیری شده برای تخته های A، B وC به ترتیب در شکلهای شماره ۲، ۳و ٤ نشان داده شده اند. همچنین مقادیر دانسیته میانگین(تعیین شده به وسیله دو روش مختلف)، دانسیته حداکثر و حداقل هریک از تخته ها در جدول شماره

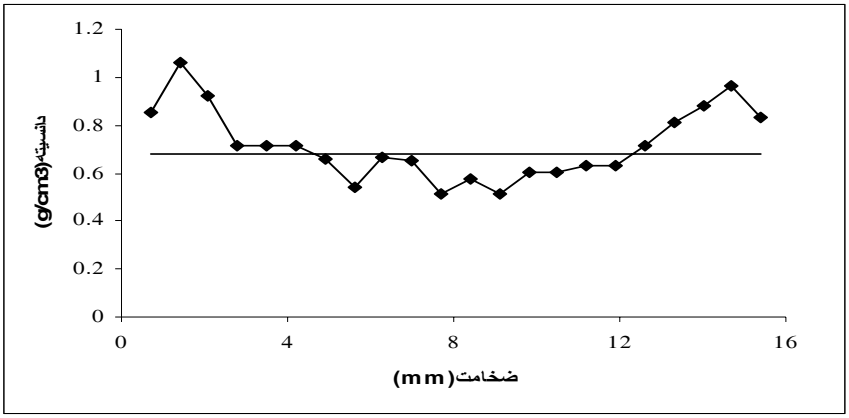
۲ آمده است. همان طور که مشاهده می شود در همه تخته ها دانسیته لایه های سطحی بیشتر از لایه های مرکزی می باشد ودر همه آنها تقریبا تقارنی از دانسیته نسبت به لایه مرکزی دیده می شود که از این لحاظ با شکل نرمال گرادیان دانسیته مطآبقت دارند. شکلهای شماره ۲، ۳ و ٤ نشان می دهند که در تختههای A وB بالاترین دانسیته در نزدیکی سطح ودر تخته C در سطحی ترین لایه دیده می شود

جدول شماره ۲ – دانسیته متوسط، حداقل و حداکثر تخته های مورد استفاده

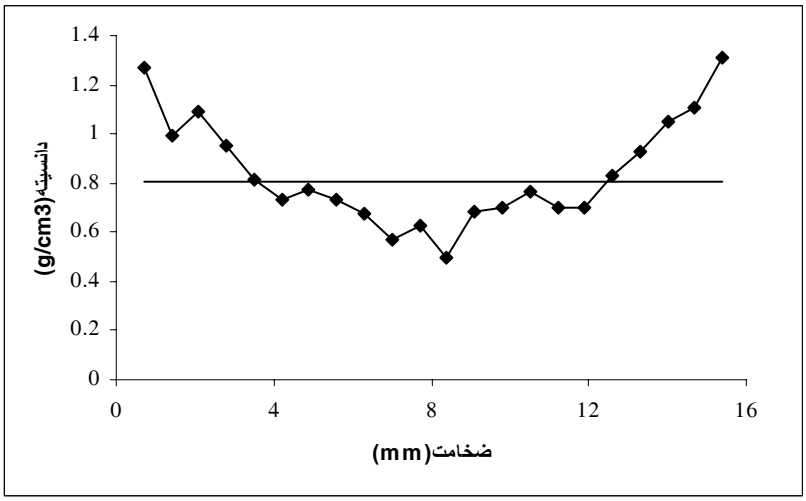
کد تخته	دانسیته میانگین(g/cm^3)		دانسیته حداقل (g/cm^3)	دانسیته حداکثر (g/cm^3)
	روش اول	روش دوم		
A	۰/۶۹	۰/۷۳	۰/۴۵	۱/۰۹
B	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۵۱	۰/۹۶
C	۰/۸۱	۰/۸۴	۰/۵۰	۱/۳۱



شکل شماره ۲ – پروفیل دانسیته در تخته A



شکل شماره ۳- پروفیل دانسیته در تختهB



شکل شماره ٤ - پروفیل دانسیته در تخته C

مقایسه دانسیته لایه های سطحی در تخته های مختلف نشان می دهد که دانسیته لایه سطحی در تخته C به طور معنی داری بیشتر از تخته‌های A و B می‌باشد در حالی که بین دانسیته‌های حداقل(دانسیته لایه مرکزی) تفاوت معنی داری بین تخته ها دیده

نمی شود. اختلاف بین دانسیته های حداکثر و حداقل نشان می‌دهد که تختهC گرادیان دانسیته عمیق تری نسبت به تخته های A و B دارد. افزایش دانسیته از مغز به سطح تخته‌های A، B وC به ترتیب ۱۲۲، ۸۸ و ۱٦۲ درصد می‌باشد. در پروفیل دانسیته تخته های A وB لایه مرکزی پهن تری نسبت به تخته C دیده می شود.

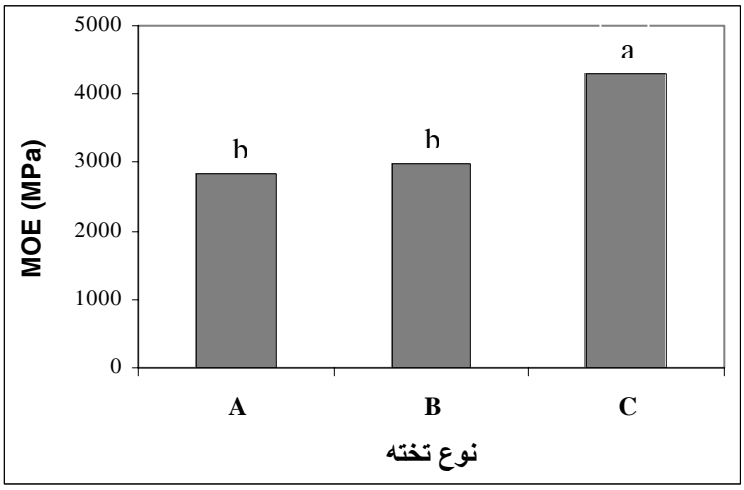
دانسیته متوسط تخته C به طور معنی داری بیشتر از تخته های A و B مشاهده شده است, ولی اختلاف بین دانسیته تخته های A و B معنی دار نبوده است. مقایسه دانسیته متوسط بدست آمده از دو روش نشان می‌دهد که دانسیته متوسط بدست آمده از پروفیل دانسیته(روش دوم) برای تخته های A ، B وC به ترتیب ٦/٤ ، ٥/٤ و ٤ درصد بیشتر از روش اول است.

از مولفه‌های پروفیل دانسیته برای تخمین ناهمگنی MDF ها در ضخامت آنها استفاده شده است(جدول شماره ۳). نسبت دانسیته حداکثر به حداقل($\mathbf{D_{max} / D_{min}}$) نشان می دهد که تخته C ناهمگنی بیشتری در ضخامت به ترتیب نسبت به تخته A و B دارد. با دخیل کردن دانسیته متوسط در بیان ناهمگنی(مولفه $\mathbf{(D_{max}- D_{average})/(D_{average}- D_{min})}$) نتیجه تغییر می کند طوری که تخته A ناهمگنی بیشتری در ضخامت به ترتیب نسبت به تخته C و B نشان می دهد.

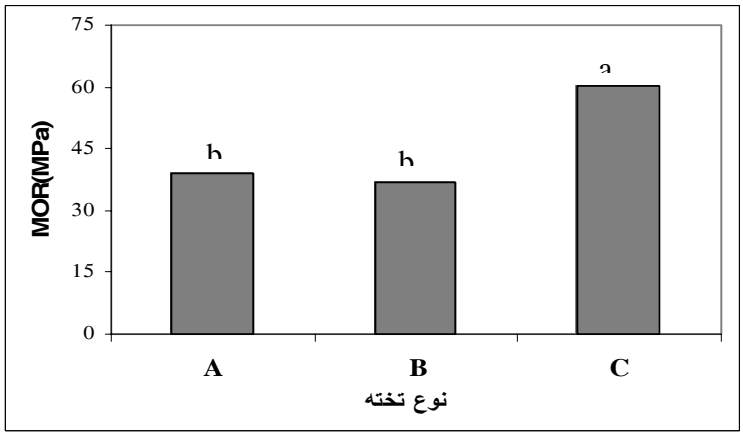
جدول شماره ۳- ناهمگنی تخته ها بوسیله پارامترهای پروفیل دانسیته

نسبت ها	نوع تخته		
	A	B	C
$\mathbf{D_{max} / D_{min}}$	۲/۲۲	۱/۸۸	۲/۶۲
$\mathbf{(D_{max}- D_{average})/(D_{average}- D_{min})}$	۱/۵	۱/۱۴	۱/۳۸

شکلهای شماره ۵ و ٦ به ترتیب مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی تخته های مورد مطالعه را نشان می دهند. همان طور که ملاحظه می شود مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی تخته C به طور معنی داری بیشتر از تخته های A و B است, ولی بین تخته های A و B اختلاف معنی داری مشاهده نشده است.



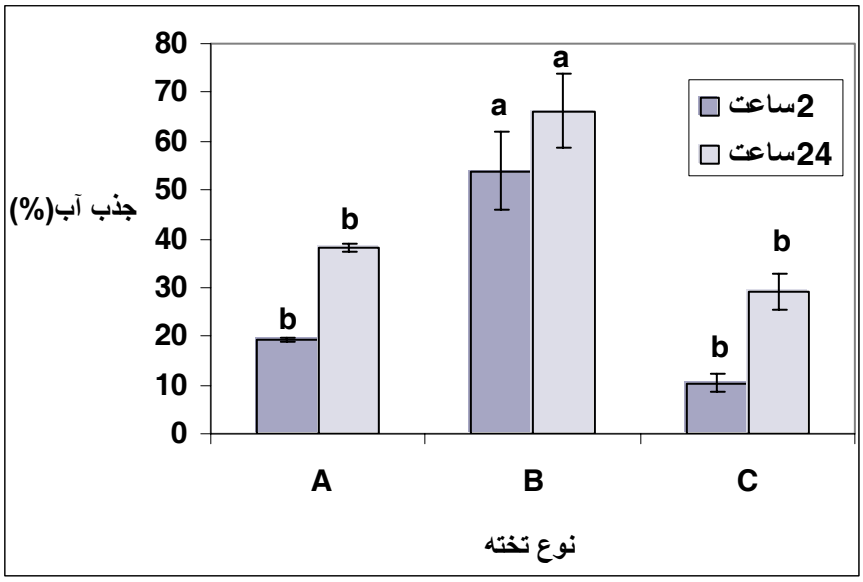
شکل شماره ۵- مدول الاستیسیته تخته های مختلف



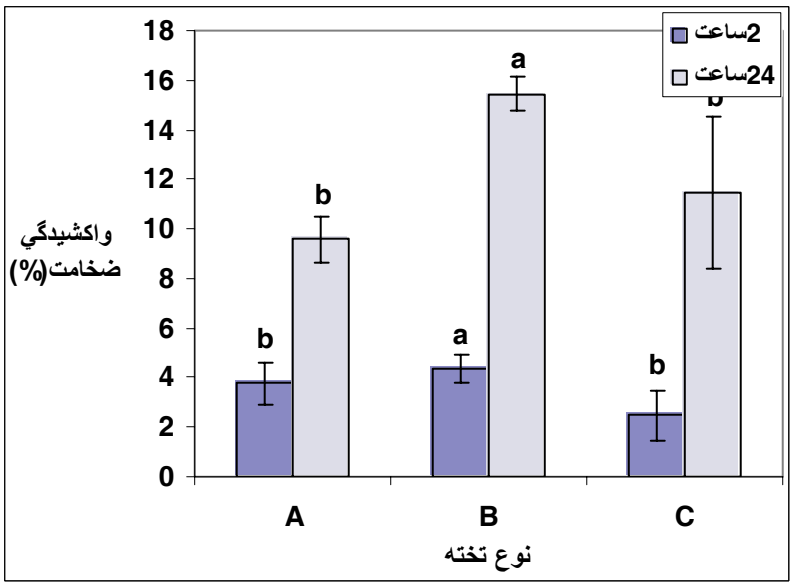
شکل ٦ – مدول گسیختگی تخته های مختلف

نتایج آزمون های آماری نشان داد که بین مقادیر چسبندگی داخلی تخته ها اختلاف معنی داری وجود ندارد. مقادیر چسبندگی داخلی تخته های A، B و C به ترتیب ۰/٤۳، ۰/۲۸ و ۰/٤۰ مگاپاسگال بدست آمده است.

شکلهای شماره ۷ و ۸ به ترتیب نمودار های جذب آب و واکشیدگی ضخامت را بعد از ۲ و ۲٤ ساعت غوطه وری در آب نشان می دهند. نتایج نشان می دهند که جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته B به طور معنی داری بیشتر از تخته های A و C می‌باشد. به طور کلی بیشترین درصد جذب آب(٦٦/۵٪) بعد از ۲٤ ساعت غوطه وری در تخته B و کمترین درصد جذب آب(۱۰/۵٪) در تخته C بعد از ۲ ساعت مشاهده شده است. همچنین بیشترین درصد واکشیدگی ضخامت(۱۵/۵٪) بعد از ۲٤ ساعت غوطه وری در تخته B و کمترین درصد واکشیدگی ضخامت (۲/۵٪) در تخته C بعد از ۲ ساعت مشاهده گردید. با افزایش زمان غوطه وری از ۲ ساعت به ۲٤ ساعت درصد جذب آب ۹٦، ۲۲ و ۱۷۸ درصد و واکشیدگی ضخامت ۱۵۵، ۲۵٤ و ۳٦۵ درصد به ترتیب در تخته های A، B و C افزایش یافته است.



شکل شماره ۷ – درصد جذب آب در تخته های مختلف



شکل شماره ۸ – واکشیدگی ضخامت در تخته های مختلف

بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در تخته های مختلف دانسیته لایه های سطحی بیشتر از لایه های مرکزی می باشد ودر همه آنها تقریبا تقارنی از دانسیته نسبت به لایه مرکزی دیده می شود که از این لحاظ با شکل نرمال گرادیان دانسیته مطآبقت دارند. با توجه به اختلاف دانسیته لایه های سطحی و مرکزی نیز نشان داد که تختهC پروفیل دانسیته عمیق تری نسبت به تخته های دیگر دارد.

با توجه به ضخامت یکسان تخته ها، دانسیته بیشتر و عمیق تر تخته C رامی توان چنین توجیه کرد که حجم الیاف بیشتری در تخته C مورد استفاده قرار گرفته؛ بنآبراین فشردگی الیاف در لایه های سطحی(ضریب فشردگی) افزایش یافته که منجر به افزایش دانسیته لایه سطحی و در نتیجه پروفیل دانسیته عمیق تر شده است.

عدم وجود دانسیته حداکثردر سطحی ترین لایه در تخته های Aو B (برخلاف تخته)C بیانگر این است که نحوه واحد سمباده زنی در تخته های مختلف فرق می کند. به طور کلی بعد از پرس گرم لایه سطحی تقریبا سست و متخلخلی در سطح تخته ها تشکیل می شود که ناشی از پلیمر شدن زود هنگام رزین پیش از فشردگی و تراکم کامل کیک الیاف می باشد(۱). وجود این لایه ضمن اینکه موجب ناصافی سطح تخته ها شده، سبب می شود که دانسیته حداکثر در سطحی ترین لایه تخته اتفاق نیافتد. حذف لایه سست و متخلخل مذکور به وسیله سمباده زنی سبب بهبود کیفیت سطحی تخته ها می شود. پروفیل دانسیته تخته های مورد مطالعه نشان می دهند که در تخته C لایه مذکور به وسیله سمباده زنی به طور کلی از دو سطح تخته حذف شده است. در تخته A این لایه در یک طرف حذف شده است ولی در لایه دیگر بخشی از آن وجود دارد, در حالی که در تختهB بخشی از این لایه در هر دو سطح موجود است.

مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی بالاتر در تخته C به لایه سطحی متراکم تر و گرادیان دانسیته عمیق تر آن مربوط می شود. به طور کلی دانسیته عمیق تر به مقدار زیادی سبب بهبود مدول های الاستیسیته و گسیختگی می شوند(۱، ١٤، ١٦).

به طور کلی با افزایش دانسیته، چسبندگی داخلی افزایش می یآبد. البته این در حالی است که سایر عوامل موثر بر چسبندگی داخلی مانند نوع و مقدار چسب و به ویژه پروفیل دانسیته ثآبت باشند. در واقع با افزایش دانسیته و ثآبت بودن پروفیل دانسیته، فشردگی و تراکم(دانسیته) لایه میانی نیز افزایش می یآبد که سبب بالا رفتن چسبندگی داخلی می شود. اگر چه دانسیته تخته C به طور معنی داری بیشتر از تخته های دیگر است ولی به علت گرادیان دانسیته عمیق تر در تخته C، اختلاف معنی داری بین دانسیته لایه های میانی این تخته با تخته های A و B مشاهده نشده است که می تواند به خوبی عدم اختلاف معنی دار بین چسبندگی داخلی تخته های مختلف را توضیح دهد.

کمتر بودن جذب آب در تختهC را می توان به دانسیته بیشتر این تخته نسبت به تخته های دیگر نسبت داد. در واقع در دانسیته بالاتر(و ضخامت های یکسان) فشردگی افزایش یافته و میزان خلل و فرج کاهش می یآبد بنآبراین میزان جذب آب کاهش می یآبد.

به طور کلی واکشیدگی ضخامت تخته ها ناشی از واکشیدگی تخته در لایه های مختلف است(۱، ١٦) و به همین منظور پروفیل دانسیته بر واکشیدگی تختهها تاثیر می-گذارد. نفوذ و انتشار آب در تخته ها متاثر از دانسیته لایه های سطحی است و هرچه دانسیته لایه سطحی بیشتر باشدمیزان نفوذ کمتر است.به همین دلیل روند میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت در ۲ ساعت غوطه وری تخته ها به صورتB>A>C می باشد که متناسب با روند تغییرات دانسیته لایه سطحی می باشد. در واقع تخته B به دلیل دانسیته سطحی کمتر نفوذ پذیری بیشتری داشته و جذب آب و واکشیدگی ان

بیشتر می باشد. اما در زمان طولانی تر غوطه وری(۲٤ساعت) زمان کافی برای نفوذ آب مهیا می گردد و با توجه به تخلخل بیشتر لایه های مرکزی، جذب آب و واکشیدگی در تخته هایی که دانسیته سطحی بیشتری داشتند به سرعت افزایش می یابد. به همین منظور روند تغییرات جذب آب و واکشیدگی در ۲٤ ساعت کمی متفاوت از ۲ ساعت می باشد(B>C>A).

دو سازکار متضاد را در مورد واکشیدگی ضخامت می توان فرض کرد: اثر دانسیته و عملکرد چسب. با افزایش دانسیته تخته ها و همچنین در گرادیان های عمیق تر واکشیدگی ضخامت افزایش می یآبد(۱، wang). از طرف دیگر ضریب فشردگی بالاتر سبب بهبود عملکرد چسب می شود که می تواند سبب کاهش واکشیدگی ضخامت شود (17). بنآبراین با توجه به نتایج بدست آمده احتمالا اثر عامل فشردگی و عملکرد چسب در ۲ ساعت غوطه وری حاکم بوده است و با افزایش زمان نقش دانسیته و پروفیل آن بیشتر شده است.

به طور کلی با توجه به ارتباط زیاد خواص کاربردی MDF با پروفیل دانسیته، انتخآب تخته های موجود در بازار با پروفیل دانسیته مناسب برای کاربرد های دلخواه و یا ساخت تخته های با پروفیل مناسب در داخل کشوراز طریق بهبود شرایط پرس می تواند سبب استفاده بهینه از این فراورده ها و بهبود کیقیت محصولات ساخته شده از این تخته ها شودکه منجر به استفاده بهینه از مواد اولیه و همچنین رضایت مشتریان خواهد شد. همچنین اطلاعات حاصل از مطالعه پروفیل دانسیته می تواند به عنوان یک روش کنترل کیفی موثر نقش مهمی در کنترل متغیر های فرایند ساخت داشته باشد.

منابع مورداستفاده

۱. دوست حسینی، ک.، ۱۳۷۹. فناوری تولید و کاربرد صفحات فشرده چوبی، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران، ٦٤٨ صفحه.

۲. کاظمی نجفی، س.؛ بوکور، و. و ابراهیمی، ق.، ۱۳۸٤. مطالعه گرادیان دانسیته در سه نوع تخته خرده چوب ایران، مجله منآبع طبیعی ایران۵۷ (٤): ۷۳۷– ۷۲۹

1- Laufenberg, T. L., 1986. Using gamma radiation to measure density gradients in reconstituted wood products. Forest products. Forest Prod. J. 36(2):59-62

2- Relss, M., 2005. Online Monitoring the density distribution with the density analyser. Grecon, 1-8.

3- Schulte, M. and Fruhwald, A., 1997. Some investigation concerning density profile, internal bond and relating failure position of particleboard. Holz als roh – und Werkstoff 55: 289-294.

4- Stevens, R. R., 1978. Slicing apparatus aids in determination of layer-density of particleboard. Forest Prod. J. 28(9):51-52.

5- Titta, M., Olkkonen H., Lappalainen, T., 1996. Density measurement of particleboard, veneer and wood specimens by narrow beam gamma absorption technique, Proceeding of 10th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, PP: 87-200.

6- Wang, S., Winistorfer, P. M., 2000. Fundamentals of vertical density formation in wood composites. Part II: Methodology of vertical density formation under dynamic conditions, Wood and Fiber Science, 32(2): 220-238.

7- Wang, S. Winistorfer, P. Young, T. M., 2004. Fundamentals of vertical density formation in wood composites. Part III. MDF density formation during hot – pressing. Wood and Fiber Science, 36(1): 17-25.

8- 10- Wang, S. winistorfer, P. Young, T. M. Helton, C., 2001. Step-closing pressing of medium density fiberboard: Part 1. Influences on the vertical profile. Holz als Roh –und Werkstoff, 59:19-26.

9- 11- Winstorfer, P. M., Moschler, W. W., 2001. Dynamic of mat consolidation during pressing: what we ve learned with our in press radiation system for pressing wood com posite, SPIE VOL. 2944:324-334.

10- 12- Winstorfer, P. M., Moschler, W. W., Wang, S., Depaula, E. and Bledsoe, B. L., 2000. Fundamentals of vertical density profile formation

in Wood comnposites. Part I: In – Situ density measurement of the consolidation process, Wood and Fiber Science, 32(2):209-219.

11- 13- Winstorfer, P. M., Xu, M. and Wimmer, R., 1995. Application of drill resistance technique for density profile measurement in wood composite panels. Forest Prod. J. 45(60: 90-93

12- 14-Wong , E. D., 1999, Effects of density profile on the mechanical properties of particleboard, Wood Research 86: 19-33.

13- 15-Wong , E. D., Zhang, M., Wang, Q. and Kawai, S., 1998, Effects of mat moisture content and press closing speed on the formation of density profile and properties of particleboard. J. Wood Sci. 44:287-295.

14- Wong , E. D., Zhang, M. and Kawai, S., 1999, Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard. Wood Science and Technology 33:327-340.

15- Xu, W. and Suchsland, O., 1998. Variability of particleboard properties from single and mixed species pocesses. Forest Prod. J. 48(9): 68-74