

## اثر استفاده از پسماند کاغذسازی بر ویژگی‌های آبدوستی بلندمدت چندسازه چوب-پلاستیک ساخته شده به روش پرس مسطح

بابک میرزائی<sup>۱\*</sup> و کاظم دوست حسینی<sup>۲</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

پست الکترونیک: bmirzaei@hotmail.com

۲- استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۰

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۸۹

### چکیده

به منظور بررسی امکان استفاده از پسماند کاغذسازی در ساخت چند سازه، چهار تیمار از آرد چوب راش، پسماند کارخانه چوب کاغذ مازندران و پلی اتیلن سنگین ساخته و خواص آبدوستی آن ارزیابی شد. مقدار جفت کننده MAPE و پلیمر در تمام ترکیب‌ها ثابت و به ترتیب ۲٪ و ۳۸٪ در نظر گرفته شد. نتایج حاصل نشان داد به دلیل زیاد بودن مقدار ماده معدنی پسماند کاغذسازی (حدود ۴۰٪) جذب آب و به‌ویژه واکنشیدگی ضخامت بلندمدت با افزایش پسماند کاهش یافت. هر چند ضریب انتشار رطوبت تیمار حاوی ۳۰٪ پسماند و ۳۰٪ آرد چوب بالاتر از سایر تیمارها بود.

**واژه‌های کلیدی:** پسماند کاغذسازی، آرد چوب، پلی اتیلن، چند سازه، ویژگی‌های فیزیکی.

### مقدمه

در بین صنایع مختلفی که از منابع لیگنوسلولزی به‌عنوان ماده اولیه استفاده می‌کنند، صنایع خمیر و کاغذ به دلیل فرآوری شیمیایی عمده این مواد ترکیبات متنوعی به‌عنوان زوائد تولید می‌کنند. از آنجا که اغلب این فرآوری‌ها منجر به تبدیلات و تغییرات اساسی مواد خام می‌شوند دور از انتظار نیست که در ضایعات این صنایع نیز موادی کاملاً متفاوت و متنوع یافت شود. این مسئله

توجه ویژه به ضایعات این بخش از صنایع سلولزی یا لیگنوسلولزی را برمی‌انگیزد. تولید پسماند<sup>۱</sup> به‌ازاء تولید هر تن خمیر در ایالات متحده حدود ۴۵ کیلوگرم است به طوری که تولید سالانه ۸۰ میلیون تن خمیر باعث تولید ۴ میلیون تن پسماند خشک در سال می‌شود (Tajvidi, M., and G. Ebrahimi, 2002). در ایران نیز مقدار تولید پسماند کاغذسازی به‌خصوص در کارخانه‌های بزرگ رقم

1 - papaermaking sludge

پلی اتیلن سنگین به عنوان ماده پلیمری استفاده می کنند متداولترین هستند. به طوری که از ۲۶ محصول چوب-پلاستیک که در ایالات متحده در مقیاس تجاری تولید می شوند ۲۰ نوع آن از این پلیمر استفاده می کنند. این دسته از چندسازه ها عمدتاً در ساخت کفپوش و سکو به کار برده می شوند (Klyosov, A. A. 2007).

چندسازه های چوب - پلاستیک با درصد پایین پلاستیک را می توان با روش ساده پرس گرم سرد ساخت. بدین ترتیب که در پرس گرم پلاستیک ذوب شده و فشرده می شود و پس از طی مدتی مشخص تخته در پرس سرد قرار می گیرد تا فرصت سخت شدن بیابد (فائزی پور و همکاران. ۱۳۸۱).

از عوامل مهم محدود کننده مصرف چندسازه های دارای الیاف طبیعی یا آرد چوب جذب آب و واکنشیدگی ضخامت آنها در مجاورت رطوبت است (Tajvidi & Ebrahimi, 2002). بنابراین لازم است مطالعاتی در خصوص کاهش جذب آب و بهبود پایداری ابعاد این محصولات انجام بگیرد. استفاده از پرکننده های دیگر، که آبدوستی کمتری دارند، به همراه آرد چوب می تواند یک راه حل قابل بررسی باشد.

با توجه به مقدار ضایعات تولید شده در صنایع کاغذسازی در ایران یافتن راهی منطقی برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست و استفاده ای سودمند از این مواد ضروری به نظر می رسد. ساخت چندسازه عرصه ای است که امکان چنین استفاده ای سودمند را فراهم ساخته است. نظر به لزوم ارزیابی کارایی چنین فرآورده ای تحقیق حاضر انجام شده است.

Lee و همکاران (۲۰۰۲) تأثیر افزودن جفت کننده و پسماند کاغذسازی را بر خواص چندسازه های

قابل توجهی است، مثلاً کارخانه چوب کاغذ مازندران روزانه بالغ بر صد تن پسماند تولید می کند.

به طور کلی صنایع، پسماند تولید شده را می سوزانند یا در زمین دفن می کنند که هر دو روش معایب مهمی دارد. پسماند ارزش حرارتی چندانی ندارد و سوزاندن آن به عنوان یک آلاینده هوا استفاده از دستگاه های خاص تصفیه این آلاینده ها را اجباری می سازد. دفن این مواد در زمین باعث اشغال وسعت زیادی می شود و امکان راهیابی این مواد به آب های زیرزمینی و ورود مواد سمی به محیط زیست را به وجود می آورد. ملاحظات مختلفی که منجر به وضع قوانین سختگیرانه در کشورهای پیشرفته شده است این اقدامات را روز به روز با دشواریهای بیشتری رو به رو می سازد.

عرصه ای نسبتاً جدید در صنایع و با قابلیت بالا استفاده از فیلرهای بیوفیبر برای فرآورده های ترموپلاستیک است که امکان استفاده از مواد متنوع و بعضاً غیر قابل استفاده در صنایع دیگر و زائداتی را برای تولید محصولاتی ارزشمند فراهم آورده است. به عنوان مثال، می توان به خاک اره اشاره کرد که عموماً سوزانده می شود ولی قابلیت استفاده در تولید این فرآورده را دارد. مثال های دیگری نیز می توان در این خصوص یافت که شاید استفاده از پسماند کاغذسازی یکی از شاخص ترین آنها باشد. بدیهی است بیشتر مزایای استفاده از الیاف طبیعی به عنوان فیلر ترموپلاستیک ها مانند تجزیه پذیر بودن و کاهش هزینه تولید در اینجا هم صادق است، به اضافه مزایای ویژه دفع مناسب ضایعات صنعتی در میان چندسازه های چوب-پلاستیک<sup>۱</sup>، چند سازه هایی که از

1- Wood Plastic Composite (WPC)

چندسازه‌های دارای پسماند کاغذسازی مدول الاستیسیته و درصد بلورینگی بیشتری دارند.

### مواد و روشها

پلیمر مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها پلی اتیلن سنگین درجه ۳۸۴۰ محصول مجتمع پتروشیمی تبریز با دانسیته  $0.937 \text{ g/cm}^3$  و شاخص جریان مذاب  $3 \text{ g/10min}$  ۴/۱ بود.

مواد لیگنوسولوزی مورد استفاده شامل آرد چوب راش عبور کرده از الک ۴۰ مش و پسماند کاغذسازی کارخانه چوب و کاغذ مازندران بود که پس از خشک کردن، آسیاب و الک با اندازه ۴۰ مش، در ساخت نمونه‌ها استفاده شد. جدول ۱ ویژگی‌های پسماند استفاده شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- ویژگی‌های پسماند مورد استفاده

۷/۸	pH
۳۶/۷	ماده خشک (%)
۶۰/۵	مواد آلی (%)
۳۹/۵	مواد معدنی (%)

عامل جفت‌کننده مورد استفاده در این تحقیق پلی اتیلن جفت شده با مالیک انیدرید  $\text{MAPE}^4$  بود. به منظور دستیابی به ابعاد مناسب، آرد چوب راش از الک ۴۰ مش عبور داده شد و ذرات عبور کرده به‌عنوان آرد مناسب و قابل استفاده در این تحقیق به‌کار رفت. پسماند کاغذسازی پس از تهیه از کارخانه در کمترین زمان ممکن ابتدا در هوای آزاد و سپس در آون خشک شد. بعد به وسیله

پلی پروپیلن/الیاف لیگنوسولوزی بررسی کردند. بنابراین تحقیق با افزودن پسماند افزایش جفت‌کننده خواص فیزیکی بهبود یافت ولی مقاومت به ضربه فاکتور کاهش یافت. مقاومت چسبندگی داخلی با افزایش جفت‌کننده افزودن پسماند افزایش یافت ولی  $\text{MOR}^1$  و  $\text{MOE}^2$  با افزودن پسماند کاهش یافتند.

Son و همکاران (۲۰۰۴) خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده از پسماند کاغذسازی و پلیمر ترموپلاستیک را بررسی کرده و نشان دادند با افزایش مقدار پسماند کاغذسازی، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه‌ها کمی بهبود یافت ولی مقاومت و مدول خمشی و مقاومت و مدول کششی افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان دادند. مقاومت به ضربه فاکتور و بدون فاق با افزایش پسماند کاغذسازی کاهش یافت.

Kiyosov (۲۰۰۷) فرآورده‌ای گرانولی را که در ایالات متحده از پسماند خمیر و کاغذ تولید می‌شود شرح داده است این فرآورده با ترکیب وزنی حدود ۵۰ درصد کربنات کلسیم و خاک چینی و حدود ۵۰ درصد سلولز لیگنین‌زدایی شده (حدود ۱ تا ۴ درصد لیگنین) به نام تجاری BIODAC تولید می‌کند. این محصول جزء اختراعات ثبت شده در آن کشور است که عمدتاً به مصارف کشاورزی می‌رسد. ولی نوعی چندسازه به نام تجاری GeoDeck هم به‌عنوان فیلر از آن استفاده می‌کند.

Ismail و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی تأثیر افزودن پسماند کاغذسازی و کائولین در چندسازه‌های پلی پروپیلن و اتیلن پروپیلن دی ان تریپلر پرداختند و نتیجه گرفتند که چندسازه‌های دارای کائولین مقاومت کششی، ازدیاد طول در شکست و جذب آب کمتری نشان می‌دهند، هرچند

3 - Melt Flow Index (MFI)

4 - Maleic Anhydride grafted Polyethylene

1- modulus of rupture

2 - modulus of elasticity

ابعاد قالب پرس تخته‌های مورد مطالعه  $1 \times 30 \times 30$  سانتی‌متر ودانسیته آنها  $1 \text{ g/cm}^3$  تنظیم و کنترل گردید. فرایند اختلاط مواد برای ساخت تخته‌ها به صورت خشک و با درصدهای وزنی مطابق جدول ۲ انجام شد.

آسیاب آزمایشگاهی آسیاب شد وبا الک ۴۰ مش جداسازی ذرات مناسب انجام گردید. آرد پسماند و آرد چوب در کیسه‌های پلاستیکی در بسته و نفوذناپذیر نگهداری شد.

جدول ۲- ترکیب تیمارهای مختلف

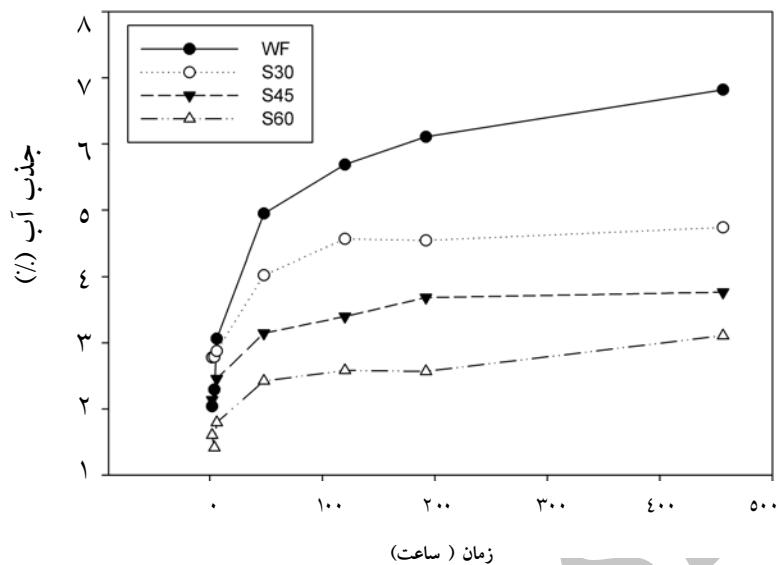
شماره	علائم	مقدار پسماند	مقدار آرد چوب	مقدار پلیمر	مقدار پلیمر
۱	WF	۰	۶۰	۳۸	۲
۲	S30	۳۰	۳۰	۳۸	۲
۳	S45	۴۵	۱۵	۳۸	۲
۴	S60	۶۰	۰	۳۸	۲

## نتایج

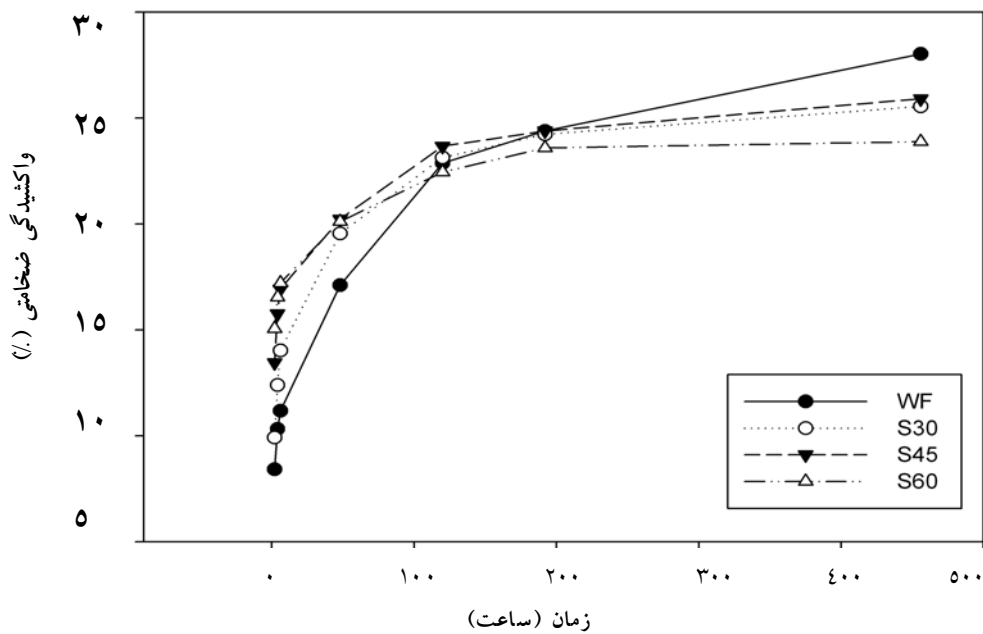
### جذب آب

شکل ۱ تأثیر افزودن پسماند را روی جذب آب نمونه‌ها نشان می‌دهد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری این ویژگی نشان دهنده تفاوت مشخص جذب آب در تیمارهای دارای پسماند و تیمار بدون پسماند در ساعات اولیه غوطه‌وری بود. ولی بعد از گذشت حدود ۱۰۰ ساعت مقادیر جذب آب تیمارها به یکدیگر نزدیک شد. به طور کلی تیمارهای دارای پسماند ابتدا جذب آب بیشتری نسبت به نمونه شاهد (WF) نشان دادند ولی به نظر می‌رسد بعد از گذشت حدود ۲۰۰ ساعت اشباع شدند، در صورتی که نمونه‌های آرد چوب خالص بعد از این زمان هم آب جذب می‌کردند به طوری که بعد از تقریباً ۵۰۰ ساعت روند جذب آب تیمارها عکس آن در ۱۰۰ ساعت اولیه گردید.

ترکیب مخلوط شده به صورت یکنواخت بر روی سینی فویلدار در قالب ریخته شد. لازم به ذکر است به دلیل چسبندگی بالای MAPE ابتدا روی فویل‌ها عامل آزاد کننده سیلیکونی اسپری شد. سپس کیک تشکیل شده به مدت ۱ دقیقه در پیش‌پرس سرد فشرده شد و بعد به پرس گرم منتقل شد. پس از طی مجموعاً ۲۵ دقیقه در پرس گرم تخته‌ها به پرس سرد نهایی برای گیرایی کامل منتقل شدند. برای جریان یافتن پلاستیک در هر دو جهت در ضخامت تخته پرس گرم در دو مرحله ۱۵ و ۱۰ دقیقه‌ای- در فشار ۱۰۰ kP و دمای  $180^\circ\text{C}$  انجام شد. در مرحله دوم تخته پشت و رو شده و در پرس قرار گرفت. پس از ساخت تخته‌ها نمونه‌های آزمون‌ی توسط اهر گرد بریده شدند. پیش از انجام آزمون‌ها، نمونه‌ها به مدت دو هفته در شرایط متعادل‌سازی در رطوبت  $3 \pm 65\%$  و دمای ۲  $\pm 20$  درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها توسط کولیس و با دقت mm  $0/01$  و ترازو با دقت g  $0/01$  اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- اثر افزودن پسماند بر جذب آب



شکل ۲- اثر افزودن پسماند بر واکنشیدگی ضخامت

## واکشیدگی ضخامت

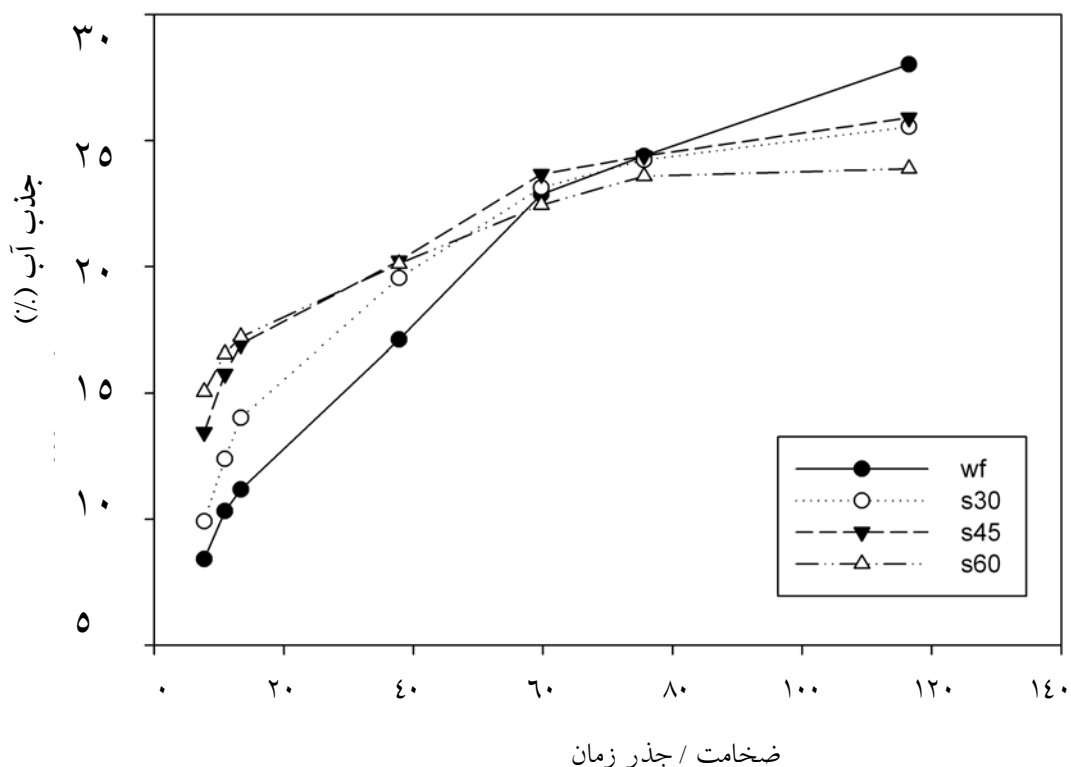
شکل ۲ تأثیر افزودن پسماند را روی واکشیدگی ضخامت نمونه‌ها نشان می‌دهد. نتایج حاصل حکایت از تفاوت مشخص و پیوسته در کاهش واکشیدگی ضخامت با افزایش مقدار پسماند دارد. هرچند افزایش پسماند مقدار جذب آب را در ۱۰۰ ساعات اول افزایش داده ولی واکشیدگی ضخامت کمتری را در مقایسه با نمونه شاهد (WF) از همان ابتدا نشان داد. به طوری که کمترین مقدار واکشیدگی ضخامت در تیمار آرد پسماند خالص و بیشترین مقدار آن در تیمار آرد چوب خالص دیده شد. بنابراین پسماند در مقایسه با آرد چوب به نسبت آبی که جذب می‌کند تغییرات ابعاد کمتری نشان می‌دهد.

## ضریب انتشار رطوبت

شکل ۳ رابطه جذب آب و جذر زمان / ضخامت نشان می‌دهد. برای محاسبه ضریب انتشار رطوبت باید منحنی جذب آب و جذر زمان / ضخامت ترسیم شود. از بخش ابتدایی این منحنی شیب خط (m) بدست می‌آید. با استفاده از رابطه زیر ضریب انتشار رطوبت (D) بدست می‌آید. نتایج در جدول ۳ آمده است. بیشترین ضریب انتشار رطوبت در نسبت برابر آرد چوب و پسماند و کمترین مقدار آن در تیمار پسماند خالص مشاهده شد.

$$D = \pi [mh/4M\infty]^2 * [1 + (h/L) + (h/n)]$$

D: ضریب انتشار رطوبت، m: شیب منحنی جذب آب و جذر زمان / ضخامت،  $M\infty$ : حداکثر جذب آب، h: ضخامت، L: طول، n: عرض



شکل ۳- رابطه جذب آب و جذر زمان / ضخامت

جدول ۳- ضریب انتشار رطوبت و شیب ابتدایی تیمارهای مختلف

شیب ابتدایی	ضریب انتشار رطوبت ( $\text{mm}^2\text{s}^{-1}$ )	تیمار
۰/۲۶۹	۰/۰۰۴۰۴۹	WF
۰/۲۸۷	۰/۰۰۴۷۰۵	S30
۰/۱۹۱	۰/۰۰۲۱۳۷	S45
۰/۱۴۸	۰/۰۰۱۴۳۲	S60

### بحث

در این بررسی اثر استفاده از پسماند کاغذسازی به جای آرد چوب به عنوان پرکننده در چندسازه‌های پلی اتیلنی ساخته شده با پرس مسطح ارزیابی شد. با توجه به نتایج این ارزیابی به نظر می‌رسد در مواردی که جذب آب در کمتر از ۱۰۰ ساعت عامل محدود کننده‌ای به شمار نیاید، امکان جایگزینی آرد چوب با پسماند کاغذسازی وجود داشته باشد. پس از این زمان رفته‌رفته جذب آب نمونه‌های حاوی آرد چوب بیشتر شد. همان طور که جدول ۱ نشان می‌دهد پسماند استفاده شده در این تحقیق حدود ۴۰٪ ماده معدنی داشت که می‌تواند رفتار متفاوت پسماند کاغذسازی در مقایسه با آرد چوب را توجیه کند. واکنش‌دهی ضخامت ارتباط معکوسی با مقدار پسماند نشان داد. به طور کلی استفاده از پسماند کاغذسازی در بلندمدت نتایج بهتری را از آرد چوب نشان داد.

### منابع مورد استفاده

- فائزی پور، م. و همکاران. ۱۳۸۱. کاغذ و مواد چند سازه از منابع زراعی (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران.

- Ismail, H, et al.2005. A Comparative Study on the Effects of Paper Sludge and Kaolin on Properties of Polypropylene/Ethylene Propylene Diene Terpolymer Composites, Iranian polymer journal. 14(8):705-713.
- Klyosov, A. A. (2007). Wood-Plastic Composites, p. 698, John Wiley and Sons Inc., New Jersey, USA.
- Lee, b., et al. 2002. Performance of paper sludge / polypropylene fiber / lignocellulosic fiber composites, Journal of industrial & engineering chemistry, 8(1): 50- 56.
- Migneault, Sebastien et al, 2008. Effect of fiber length on processing and properties of extruded wood-fiber/HDPE composites, Journal of Applied Polymer Science. 110: 1085-1092.
- Qiao, X et al.2003. Ink-Eliminated Waste Paper Sludge Flour-Filled Polypropylene Composites with Different Coupling Agent Treatments, Journal of Applied Polymer Science. 89:513-520.
- Son, Jungil et al., 2001. Role of sludge particle size and extrusion temperature on performance of paper sludge-thermoplastic polymer composites. Journal of Applied Polymer Science, 82: 2709-2718.
- Son, J. et al, 2004. Physico- mechanical properties of paper sludge- thermoplastic polymer composites, Journal of thermoplastic composite materials. 6:509-522
- Tajvidi, M., and G. Ebrahimi, 2002. Water Uptake and Mechanical Characteristics of Natural Filler- Polypropylene Composites. Journal of Applied Polymer Science, 88: 941-946

## Influence of paper mill sludge on the long term hygroscopic behavior of flat pressed wood-plastic composites

Mirzaei, B.<sup>1\*</sup> and Doosthoseini, K.<sup>2</sup>

1\*-Corresponding author, M.Sc., Dept. of wood & paper sci. & technol., Faculty of natural resources, University of Tehran, Iran.  
Email: bmirzaei@hotmail.com

2-Professor, Dept. of wood & paper sci. & technol., Faculty of natural resources, University of Tehran, Iran.

Received: Sep., 2010

Accepted: Feb., 2012

### Abstract

Lignocellulosic material used as raw material in pulp and paper production due to major chemical alterations produce different waste compounds and composite manufacturing is an area providing the opportunity to utilize such wastes. In order to investigate the feasibility of using papermaking sludge in composite production, four combinations of wood flour/papermaking sludge/ high density polyethylene ratio were formulated, then composite panels were made and the physical properties of manufactured panels were evaluated. The content of maleated polyethylene (MAPE) and the polymer was constant 2% and 38% respectively, for all formulations. The results indicated that long term water absorption in particular thickness swelling decreased with increasing sludge content. Furthermore, moisture diffusion coefficient of samples containing 30% sludge and 30% wood flour was more than others. The results revealed that using papermaking sludge can be an alternative option for lignocellulosic raw material.

**Keywords:** papermaking sludge, wood flour, polyethylene, composite