

ارزیابی اثر دمای غوطه‌وری بر رفتار جذب آب طولانی مدت ماده مرکب پلی اتیلن سنگین / خاک اره چوب

عبدالله نجفی*

عضو هیات علمی گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده کشاورزی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

چکیده

اثر دمای غوطه‌وری بر ویژگی‌های جذب آب طولانی مدت ماده مرکب پلی اتیلن سنگین/خاک اره چوب در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور تخته‌های چوب پلاستیک از مخلوط خاک اره چوب و پودر پلی اتیلن سنگین به نسبت ۶۰٪ وزن پرکننده در دما و فشار ثابت به روش خشک مخلوط/پرس گرم ساخته شد. چگالی (دانسیته) تخته‌ها 1 g/cm^3 و ابعاد آن $1 \times 35 \times 35$ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با بهره‌گیری از استاندارد DIN-EN ۳۱۷ نمونه‌هایی برداشته شد و در آب مقطر با دماهای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس غوطه‌ور شد تا جذب آب طولانی مدت اندازه‌گیری شود. نتایج نشان داد که روند جذب آب در ماده مرکب پلی اتیلن سنگین/خاک اره چوب از قانون فیک پیروی می‌کند. با افزایش دمای غوطه‌وری زمان رسیدن به جذب بیشینه کاهش و میزان جذب حداکثر افزایش یافت. ضریب انتشار رطوبت به صورت سهمیگون (پارابولیکی) تحت تاثیر افزایش دمای غوطه‌وری قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: ماده مرکب چوب پلاستیک، خاک اره چوب، پلی اتیلن سنگین، جذب آب، پرس گرم.

مقدمه

و پایداری ابعاد مواد مرکب خواهد گذاشت [۲]. در بیشتر کاربری‌ها مواد مرکب چوب پلاستیک علاوه بر رطوبت، ممکن است در معرض دامنه گسترده‌ای از گرما نیز قرار گیرند، گرما ممکن است موجب تشدید اثرگذاری ناخوشایند رطوبت شود [۷]، بر روند، میزان و سرعت جذب آب تاثیر بگذارد. گرما تاثیرهای برگشت‌ناپذیری در ماده مرکب ایجاد می‌کند و ممکن است تاثیرهای جذب آب بر ماده مرکب را بسیار پیچیده نماید [۷]. میزان و روند جذب آب در مواد مرکب چوب پلاستیک به عوامل مختلفی مانند نوع و میزان پلاستیک، نوع و میزان پرکننده سلولزی، بهره‌گیری یا عدم استفاده از سازگارکننده، روش ساخت، دما و... بستگی دارد [۵، ۲، ۹، ۸].

به علت این‌که مواد مرکب چوب پلاستیک ممکن است به‌صورت طولانی مدت در تماس با عوامل جوی و آب قرار گیرند و همزمان تحت تاثیر گرما نیز واقع شوند، بنابراین در این پژوهش سعی شده است اثر دمای غوطه‌وری بر رفتار طولانی مدت جذب آب ماده مرکب چوب پلاستیک خاک اره چوب و پلی‌اتیلن سنگین که به روش خشک مخلوط/ پرس گرم^۲ ساخته شدند، مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

مواد مورد بهره‌گیری: پلی‌اتیلن سنگین فرآورده شرکت صنایع پتروشیمی اراک با درجه ۵۲۱۸ و شاخص جریان مذاب ۱۳/۵g/10min که در دمای ۱۹۰ درجه سلسیوس و با وزن ۲/۱۵kg اندازه‌گیری شده است به عنوان پلاستیک بهره‌گیری شده است.

خاک اره بدست آمده از برش الوارهای نراد توسط اره فلکه صد در این بررسی به عنوان پرکننده به کار برده شده است. خاک اره نراد به مدت ۲۴ ساعت در گرم‌خانه با دمای 102 ± 2 درجه سلسیوس قرار گرفت و به طور کامل خشک شدند و برای جلوگیری از جذب رطوبت در کیسه‌های پلاستیکی در بسته قرار داده شدند.

مواد مرکب چوب پلاستیک که به اختصار WPCs^۱ نامیده می‌شوند، گروه جدیدی از مواد هستند که در بسیاری از کشورهای پیشرفته در حال تولید و گسترش می‌باشند. این مواد کاربردهای فراوانی دارند و می‌توانند به جای چوب و پلاستیک به کار روند. مواد مرکب چوب پلاستیک هر روز بیشتر از روز پیش مورد توجه قرار گرفته و مواد و فن آوری تولید آن در حال گسترش می‌باشد. کاربردهای جدید و پایانی گوناگونی برای مواد مرکب چوب پلاستیک وجود دارد. کاربردهایی مانند کفپوش، دیوارپوش، نرده و انواع دیگر آن در شرایطی مورد بهره‌گیری قرار می‌گیرند که تماس با محیط مرطوب و آب از ویژگی‌های آن است. وجود مواد و الیاف چوبی و لیگنوسلولزی که به ذاته آب‌دوست هستند در این مواد مرکب که گاه تا ۸۰ درصد وزنی آن را تشکیل می‌دهند و شرایط مصرف آن، ضرورت پژوهش اثر گذاری رطوبت بر مواد مرکب چوب پلاستیک را موجب می‌شد. جذب آب و رطوبت توسط خاک اره، آرد و الیاف چوبی و لیگنوسلولزی در این مواد می‌تواند به عنوان یک مشخصه محدودکننده مصرف آن‌ها باشد. جذب آب و رطوبت موجب کاهش بعضی از ویژگی‌های کاربردی مواد مرکب چوب پلاستیک می‌شود، به ویژه در کاربردهای بیرون از ساختمان جذب رطوبت و اثر گذاری آن بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی می‌تواند یک عامل محدودکننده کاربردی باشد [۲، ۱، ۳]. پژوهش‌های زیادی در مورد ویژگی‌های جذب آب مواد مرکب چوب پلاستیک صورت گرفته است [۵، ۴، ۶] و بعضی از پژوهشگران کوشیدند تا ویژگی جذب آب آن را کاهش دهند [۴، ۳]. نتایج نشان داده است که در مواد مرکب چوب پلاستیک جذب آب با دو مکانیزم هدایت می‌شود: اول به علت طبیعت آبدوستی الیاف یا لیف‌های چوبی یا لیگنوسلولزی و ثانيا نفوذ آب در ترک‌های ریز و روزنه‌های موجود در مواد مرکب و در ناحیه بین الیاف و ماتریس [۲]. مقاومت ضعیف الیاف به جذب آب اثر گذاری ناخوشایندی در ویژگی‌های مکانیکی

² dry blend/hot press¹ Wood Plastic Composites

برای اختلاط بهتر بین پرکننده و پلاستیک، دانه‌های پلی‌اتیلن در مجتمع صنایع پلاستیک طبرستان به پودر تبدیل شدند. دانه بندی مواد در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- دانه بندی (%) خاک اره نراد و پلی اتیلن

نوع مواد	مش				
	<۱۸	۱۸-۳۰	۳۰-۶۰	۶۰-۱۰۰	۱۰۰>
خاک اره نراد	۰/۳	۱۰/۳	۳۷/۷	۴۰/۲	۱۱/۵
پلی اتیلن سنگین	۵/۰	۳۵/۰	۵۱/۰	۹/۰	-

فرآیند اختلاط مواد و ساخت تخته

خاک اره نراد با نسبت ۶۰ درصد وزنی تخته با پودر پلی-اتیلن در یک مخلوط‌کن دور بالا قرار گرفت و با سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه به طور کامل مخلوط شدند. از اختلاط انجام شده و با بهره‌گیری از شابلون و به وسیله پرس هیدرولیکی گرم و با فشار ثابت تخته های چوب پلاستیک به ابعاد $۱۰ \times ۳۵ \times ۳۵$ میلیمتر با چگالی ثابت ۱ گرم بر سانتیمتر مکعب ساخته شد. زمان و دمای پرس به ترتیب ۲۵ دقیقه و 190°C تنظیم شد. در ۲۰ دقیقه اول زمان پرس گرم از دو عدد فضا دهنده^۱ فولادی (به ضخامت ۵mm) در دو طرف شابلون به منظور خروج گازهای ناشی از تجزیه مواد چوبی و رطوبت احتمالی بهره‌گیری شد. پس از پایان مرحله پرس گرم، تخته‌ها به مدت ۵ دقیقه در پرس سرد قرار داده شدند تا تحت فشار سرد شوند که در کل ۵ تخته ساخته شد. تخته‌های ساخته شده در دمای $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی $65 \pm 5\%$ به مدت دو هفته نگهداری شد تا به شرایط ثابتی برسند.

اندازه گیری جذب آب بلند مدت

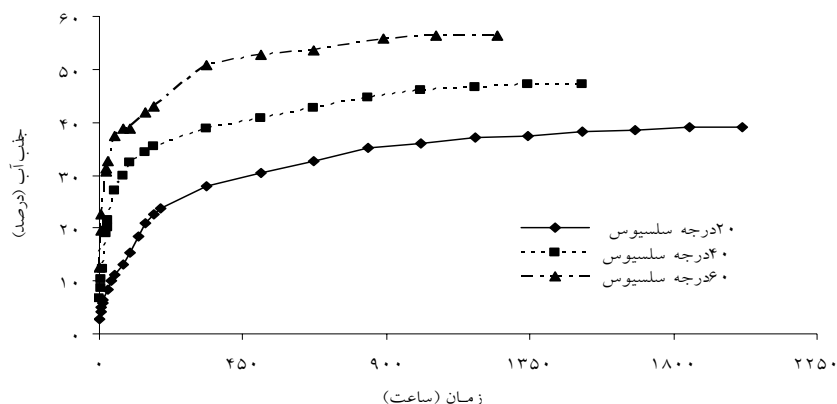
اندازه گیری جذب آب برابر با استاندارد DIN-EN ۳۱۷۵ انجام شد. بدین منظور شمار ۵ نمونه خشک شده (50×50 mm) از هر تخته در آب مقطر با دماهای 20 ± 2 و 40 ± 2 درجه سلسیوس غوطه‌ور شده (ترموستات دمای آب را تنظیم می‌کرد) و در زمان های

مختلف تا رسیدن به نقطه اشباع (نبود تغییر در وزن نمونه‌ها) وزن شدند. توزین نمونه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام شد.

نتایج و بحث

روند جذب آب ماده مرکب چوب پلاستیک در دماهای متفاوت غوطه‌وری در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ماده مرکب غوطه‌ور در آب با دمای ۲۰ درجه سلسیوس در زمان طولانی‌تر به بیشینه میزان جذب می‌رسند و جذب آب کمتری نسبت به غوطه‌وری در آب با دمای ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس دارد.

¹ spacer



شکل ۱- روند جذب آب ماده مرکب در دماهای متفاوت

رطوبت در زمان t و M_{sat} میزان رطوبت اشباع و K و n نیز ضریب‌های ثابت‌اند.

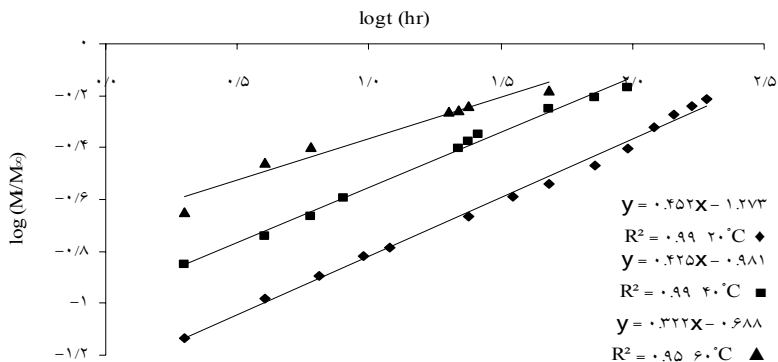
$$\frac{M_t}{M_{sat}} = Kt^n \quad \text{رابطه ۱:}$$

ضریب n اختلاف رفتار مواد مختلف به لحاظ انتشار رطوبت را نشان می‌دهد. برای موادی که انتشار رطوبت در آنها از نظریه انتشار فیک (Fick) پیروی می‌کند میزان $n \leq 0.5$ می‌باشد. تجزیه سازوکار انتشار در ماده مورد بررسی بر پایه نظریه انتشار فیک و همخوانی داده‌های بدست آمده با رابطه ۲ که لگاریتم رابطه ۱ است، انجام می‌شود.

$$\text{LOG} \left(\frac{M_t}{M_{sat}} \right) = \text{LOG}(k) + n \text{LOG}(t) \quad \text{رابطه ۲:}$$

همخوانی داده‌های آزمایش ماده مرکب غوطه‌ور شده در آب با دماهای متفاوت با نظریه انتشار رطوبت در شکل ۲ دیده می‌شود. نمودار $\log(t)$ در برابر $\log(M_t/M_{sat})$ رسم می‌شود و خط رگرسیون و معادله آن تعیین می‌شود. ضریب X معادله خط رگرسیون همان n رابطه ۲ است و اگر $n \leq 0.5$ باشد، می‌توان دریافت که جذب آب در این ماده مرکب با نظریه انتشار Fick همخوانی دارد. همان‌گونه که دیده می‌شود، اعداد 0.425 و 0.452 و 0.322 به ترتیب مربوط به دمای 60 و 40 و 20 درجه سلسیوس می‌باشد، که نشان دهنده پیروی جذب آب در ماده مرکب از نظریه انتشار فیک است.

در مقابل، ماده مرکب در آب با دمای 60 درجه سلسیوس سریع‌تر و در زمان کوتاه‌تری به نقطه اشباع می‌رسد. به عبارت دیگر هر چه دمای آب افزایش یابد میزان آب جذب شده افزایش و زمان رسیدن به شرایط اشباع کاهش می‌یابد. ماده مرکب در آب دمای معمولی (20 درجه سلسیوس) در زمان 2016 ساعت به بیشینه میزان جذب (38 درصد) می‌رسد در حالی که در آب با دمای 40 درجه سلسیوس در حدود 1512 ساعت طول می‌کشد تا به بیشینه میزان جذب (47 درصد) و در آب با دمای 60 درجه سلسیوس در زمان 1248 ساعت به 56 درصد که میزان بیشینه آب جذب شده است می‌رسد. افزایش دمای آب موجب حرکت بیشتر مولکول‌های آب و نفوذ بیشتر آن در خلل و فرج و منافذ ریز موجود در ماده مرکب می‌شود. Kazemi و همکاران در بررسی جذب آب کوتاه مدت ماده مرکب چوب پلاستیک نشان دادند که با افزایش دمای غوطه‌وری پس از 2 و 24 ساعت جذب آب نیز افزایش می‌یابد [۹]. ضریب انتشار رطوبت مهم‌ترین مشخصه در بیان چگونگی جذب آب و رطوبت در مواد مرکب چوب پلاستیک می‌باشد [۲]. Joseph و همکاران در مواد مرکب پلی‌پروپیلن و الیاف لیگنوسلولزی، Espert و همکاران نیز برای ماده مرکب الیاف لیگنوسلولزی و پلی‌پروپیلن ضریب انتشار رطوبت را مورد بررسی قرار دادند [۲، ۱۰]. به طور کلی از نظر نظری ضریب انتشار رطوبت با شیب منحنی جذب آب با بهره‌گیری از رابطه ۱ به دست می‌آید که M_t میزان

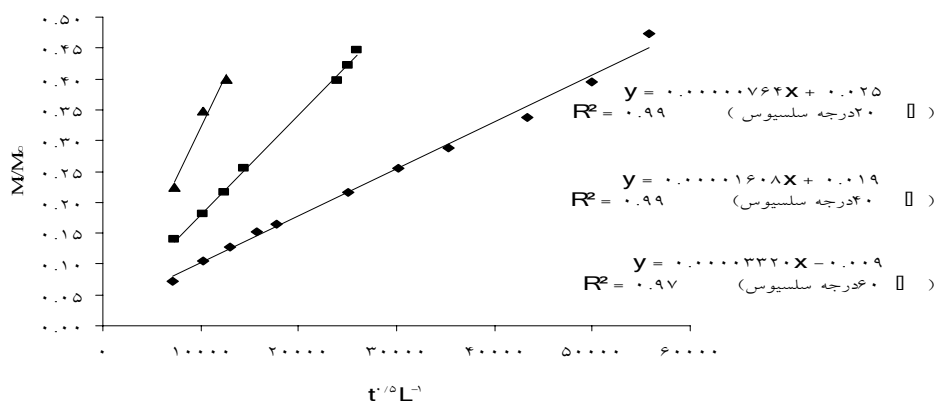


شکل ۲- همخوانی داده‌های تجربی با نظریه انتشار رطوبت ماده مرکب در دماهای متفاوت غوطه‌وری

قسمت خطی منحنی M_t/M_{sat} در برابر $t^{1/5}L^{-1}$ بدست می‌آید. شکل ۳ روش محاسبه ضریب انتشار رطوبت بر پایه منحنی بدست آمده از رابطه ۳ را نشان می‌دهد.

$$\frac{M_t}{M_{sat}} = \frac{4}{L} \left(\frac{D}{\pi} \right)^{0.5} t^{0.5} \quad \text{رابطه ۳:}$$

مرحله بعد تجزیه مشخصه‌های این مدل است که ضریب انتشار مهم‌ترین مشخصه این مدل می‌باشد، زیرا توانایی انتشار مولکول‌های آب به درون ساختار ماده مرکب را نشان می‌دهد. برای زمان‌های کوتاه $M_t/M_{sat} \leq 0.5$ ، برای محاسبه ضریب انتشار (D) از رابطه ۳ می‌توان بهره‌گیری کرد، که در اینجا L ضخامت نمونه است. ضریب انتشار رطوبت با بهره‌گیری از رابطه ۳ و از شیب



شکل ۳- محاسبه ضریب انتشار رطوبت در ماده مرکب آزمون

کمتر است، زیرا در حدود نیمی از جذب را در این زمان اندک انجام داده است.

جدول ۲ ضریب‌های انتشار و مشخصه‌های آن در ماده مرکب آزمون در دماهای متفاوت غوطه‌وری را نشان می‌دهد. با افزایش دمای غوطه‌وری از ۲۰ به ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس ضریب‌های انتشار به ترتیب ۵ و ۲۱ برابر می‌شود [۲].

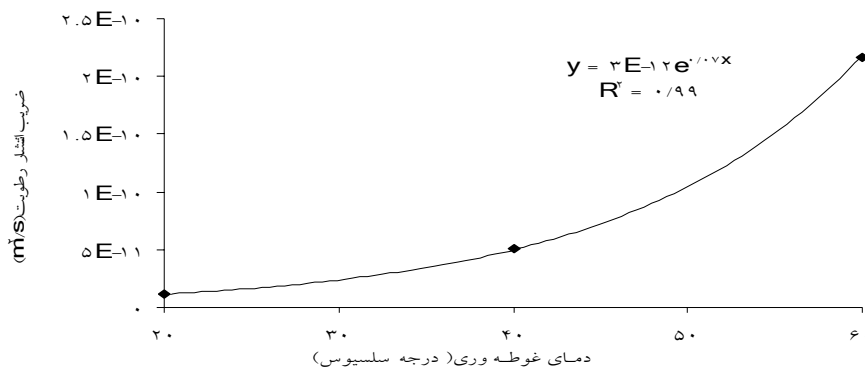
ضریب X در معادله رگرسیون هر کدام از خطوط به توان دو رسیده در عدد ۳/۱۴ ضرب و بر ۱۶ تقسیم می‌شود تا ضریب‌های انتشار محاسبه شود. شکل ۳ تعیین ضریب‌های انتشار در سه دمای مورد آزمون را نشان می‌دهد. همان گونه که دیده می‌شود، در آب با دمای ۶۰ درجه سلسیوس شمار نقاطی که شامل $M_t/M_{sat} \leq 0.5$ می‌باشد، کمتر است و این نشان دهنده شیب تند منحنی جذب آب و گرایش ماده مرکب به جذب بیشتر در زمان

شکل ۴ ضریب‌های انتشار رطوبت ماده مرکب در سه دمای غوطه‌وری را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود، افزایش دمای غوطه‌وری به صورت سهمیگون (پارابولیکی) افزایش ضریب انتشار رطوبت را پیش‌بینی می‌کند، که نشان دهنده وابستگی قوی ضریب انتشار و دمای غوطه‌وری است.

Kazemi و همکاران رفتار جذب آب مواد مرکب ساخته شده از خاک اره و پلاستیک‌های بازیافتی را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که روند جذب آب این مواد نیز از نظریه فیک پیروی می‌کند [Espert, ۱۷]. همکاران در مواد مرکب الیاف لیگنوسلولزی و پلی‌پروپیلن نشان دادند که ضریب انتشار رطوبت به دما به شدت وابسته است.

جدول ۲- ضریب انتشار و مشخصه‌های آن در دماهای غوطه‌وری

دمای غوطه‌وری (°C)	n	K (hr ²)	ضریب انتشار رطوبت (m ² s ⁻¹)
۲۰	۰/۴۵۲	۰/۰۵۳	۱/۱۳×۱۰ ^{-۱۱}
۴۰	۰/۴۲۵	۰/۱۰۴	۵/۰۷×۱۰ ^{-۱۱}
۶۰	۰/۳۲۲	۰/۲۰۵	۲۱/۶×۱۰ ^{-۱۱}



شکل ۴- اثر دمای غوطه‌وری بر ضریب انتشار ماده مرکب

۲- رفتار جذب آب در ماده مرکب چوب پلاستیک مورد بررسی غوطه‌ور در دماهای متفاوت از نظریه فیک پیروی کرد.

۳- دمای غوطه‌وری بر ضریب انتشار رطوبت ماده مرکب موثر است به طوری که ماده مرکب غوطه‌ور در آب با دمای ۶۰ درجه سلسیوس بیشترین ضریب انتشار رطوبت را نشان داد.

۴- رابطه بین دمای غوطه‌وری و ضریب انتشار رطوبت در ماده مرکب به صورت سهمیگون (پارابولیکی) بود، به طوری که افزایش دمای غوطه‌وری به شدت ضریب انتشار را افزایش داد.

نتیجه گیری

در این پژوهش روند جذب آب طولانی مدت (رسیدن تا حد اشباع) ماده مرکب ساخته شده از پلی‌اتیلن سنگین و پرکننده خاک اره چوب نراد غوطه‌ور شده در آب با دمای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس بررسی شد و نتایج زیر به دست آمد:

۱- دمای غوطه‌وری بر بیشینه میزان جذب آب و زمان رسیدن به بیشینه میزان جذب در ماده مرکب چوب پلاستیک مورد بررسی موثر بود به طوری که ماده مرکب غوطه‌ور در آب با دمای ۶۰ درجه سلسیوس دارای بیشترین میزان آب جذب شده و کمترین زمان رسیدن به بیشینه میزان جذب را نشان داد.

منابع

- 1- Najafi, A. and Kazemi Najafi, S., 2007. Influence of Water Absorption on Mechanical Properties of Lignocellulosic /HDPE composites. In: Proceeding of 2th International Conference on Recent Advances in Composites Materials. Feb. 20-23 New Delhi, India, pp. 213-218.
- 2- Espert, A. Vilaplana, F. and Karlsson S., 2004. Comparison of water absorption in natural cellulosic fibers from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties, Composites. Part A., 35(11): 1267–1276.
- 3- George J. Sreekala M. S. and Thomas S., 2001. A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites, Polymer Engineering and Science. Vol. 41, No. 9, 1471-1485,
- 4- Pothan L. A. and Thomas S., 2004. Effect of Hybridation and Chemical Modification on the Water-absorption Behavior of Banana Fiber-reinforced Polyester Composites, Journal of Applied Polymer Science, 91, 3856-3865.
- 5- Shi S. Q. and Gardner D. J., 2006. Hygroscopic Thickness Swelling Rate of Compression Mold Wood Fiberboard and Wood fiber/polymer Composite, Composites, Part A., 35:1276-1285.
- 6- Tajvidi M. and Ebrahimi Gh., 2003. Water Uptake and Mechanical Characteristics of Natural Filler–Polypropylene Composites, Journal of Applied Polymer Science, 88:941–946.
- 7- Bao, L. R. and Yee, A. F., 2002. Effect of temperature on moisture absorption in bismaleimide resin and its carbon fiber composites. Polymer, 43:3987-3997.
- 8- Kazemi Najafi S. Kiaefar A. Hamidinia E. and Tajvidi M., 2007. Water Absorption Behavior of Composites from Sawdust and Recycled Plastics, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 26:341–348,
- 9- Kazemi Najafi, S. Tajvidi, M. and A. Hamidinia, E. 2007. Effect of temperature, plastic type and virginity on the water uptake of Sawdust / Plastic composites, Holz Roh Werkst, 65:377-382.
- 10- Joseph, P. V., 2002. Environmental effects on the degradation behavior of sisal fibre reinforced polypropylene composites. Composites Science and Technology, 62(10-11): 1357-1372.