

## اثر پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر بر خواص ممانعتی کاغذ

### چکیده

هدف این مطالعه، بررسی تأثیر پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر در دو نوع کاغذ پایه بوده است. بدین منظور از دو نوع کاغذ پایه متفاوت (کرافت لاینر و چاپ و تحریر کارخانه چوب و کاغذ مازندران)، استفاده شد. مواد پوشش دهی با مواد جامد ۳۰ درصد، دارای خاک رس (۱۰۰ قسمت) و نشاسته کاتیونی (۱۲ قسمت) بود و از دو نوع متصل‌کننده PLA (۱۰ قسمت) و PVA (۱۰ قسمت) برای دو ترکیب پوشش دهی استفاده شد. پوشش دهی با دو ترکیب پوششی زیست‌تخریب‌پذیر و به روش غوطه‌وری در دو زمان ۱ و ۲ دقیقه انجام شد. پس از غوطه‌وری، نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵۴ درصد، در دمای اتاق خشک شدند. مشخصات فیزیکی کاغذهای شاهد و پوشش شده مانند مقاومت به عبور هوا یا تخلخل، ضخامت، جرم و جذب آب (Cobb60) تعیین گردید. مطابق انتظار، افزایش زمان تیمار، موجب کاهش تخلخل و افزایش وزن پوشش در نمونه‌ها شد، ولی از نظر خواص ممانعتی، ترکیب PVA مؤثرتر از PLA بود. کلیه نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه‌های شاهد، دارای مقاومت به عبور هوای بیشتری بودند و به علت افزایش موینگی در بافت کاغذ، جذب آب در کلیه نمونه‌ها بیشتر شد. با بررسی تجزیه واریانس مشخص شد که نوع ترکیب و زمان پوشش دهی، اثر معناداری در تخلخل و وزن پوشش کاغذ دارند. سپس با انجام محاسبات، مقادیر ضخامت و چگالی پوشش به دست آمد که وضعیت جذب آب آن‌ها را تأیید کرد. تر شونده‌گی سطح کاغذ به وسیله این تیمارها افزایش یافت.

**واژگان کلیدی:** پوشش دهی، غوطه‌وری کاغذ، خواص ممانعتی، پلی‌لاکتیک‌اسید، پلی‌وینیل‌استات.

روزبه اسدی خوانساری\*  
محمدرضا دهقانی فیروزآبادی<sup>۲</sup>  
حسین رسالتی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری صنایع خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان، گرگان، ایران.

<sup>۲</sup> دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

<sup>۳</sup> استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

مسئول مکاتبات:

[rasadikhansari@gmail.com](mailto:rasadikhansari@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۱۵

### مقدمه

خواص مکانیکی مثل سبکی و استحکام در بسته‌بندی کاغذ و مقوا مطلوب بوده و مشکل مقاومت تر کاغذ نیز با افزایش زمان پالایش خمیر کاغذ و افزودن رزین‌های مخصوص، قابل‌دستیابی است، اما در بسته‌بندی قابلیت نفوذ هوا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت گرفته است که حتی در

برخی از موارد، خواص ممانعتی کاغذ نسبت به بسپارهای مشتقات نفتی برتری یافته‌اند. البته به دلیل خاصیت آب‌دوستی الیاف لیگنوسولولزی و کاغذ، باید تغییراتی در جهت آب‌گریز کردن آن‌ها انجام شود. اضافه کردن خاک رس (خاک)<sup>۱</sup>، پلی‌وینیل‌الکل و انجام اتو زنی، باعث کاهش چشم‌گیر انتقال بخار آب و کم شدن نفوذپذیری

<sup>۱</sup> clay

فقط با آهار آلکیل کتن دیمر (در محلول ان هپتان به علت غیر قطبی بودن) و سپس با پوشش دهی غوطه‌وری در سوسپانسیون PCC و پوشش دوم را با AKD انجام داده‌اند و در مرحله بعد نانو الیاف سلولز به‌عنوان متصل‌کننده یا چسب<sup>۶</sup> به سوسپانسیون PCC اضافه‌شده و همان پوشش دهی به روش غوطه‌وری صورت گرفت و سپس تیمار با پوشش دوم AKD انجام شد و کاغذ فوق آب‌گریزی بدون تخریب الیاف و با مصرف بسیار اندک نانو الیاف سلولز (۱ و ۵ درصد وزن PCC) تهیه شد. در این بررسی خوشه‌های PCC زبری سطح را ایجاد کرده و پوشش دوم نقش ممانعتی را داشته و زاویه تماس آب در مواردی به بیش از ۱۶۰ درجه رسیده است (شکل ۲) [۵].

در اختراع B2 US8382888 مخترعانی مثل Elie Jr and Dellinger (۲۰۱۳)، بر روی بسته‌بندی‌های زیستی فعالیت کرده و ظروف غذای قابل تخریب را با خواص ممانعتی نسبت به آب، بخار آب، بو و هوا ساخته‌اند که جهت بسته‌بندی انواع مواد غذایی گرم، سرد و منجمد قابل استفاده است. این کاغذ، در زیر نان، کیک و سایر مواد غذایی قابل استفاده است و باعث انتقال عناصر مضر مثل آلومینیم، منیزیم و روی به غذا نمی‌شود. این محصول می‌تواند همراه با رنگ‌دانه‌های بی‌ضرر و محلول در آب در صنایع غذایی مصرف شود و در قالب‌هایی به اشکال مختلف دایره، لیوان، مخروط و کاسه ساخته شود. مواد غذایی مایع یا نیمه مایع در این کاغذها و قالب ریخته شده و در اثر گرمای پخت، بخارهایی تولید می‌شود که این بخارها شکاف‌های بین کاغذ و قالب را پر کرده و ضایعات انرژی و مواد اولیه را به کمترین حد می‌رساند [۶].

در تحقیق دیگری Manangan و Shawaphun (۲۰۱۰)، از چند نوع کاغذ تجاری و دست‌ساز با وزن پایه بالا استفاده شده است و نمونه‌های تهیه‌شده به روش غوطه‌وری با ترکیبات پلی ۳-هیدروکسی بوتیرات<sup>۷</sup> و پلی‌لاکتیک‌اسید<sup>۸</sup> پوشش دهی شده‌اند که کاملاً زیست‌تخریب‌پذیر هستند. آنالیز جرمی و ATR\_FTIR نشان داد که غلظت بسیار و افزایش زمان غوطه‌وری در وزن نوار پوشش مؤثر است؛ همچنین مقدار جذب آب در نمونه‌ها کاهش یافت و خواص ممانعتی هوا و روغن نسبت

نسبت به هوا و اکسیژن می‌شود. در سال‌های اخیر، بسته‌بندی انواع مواد غذایی در اشکال مختلفی (اتمسفیری اصلاح‌شده<sup>۱</sup>، اتمسفیری اصلاح‌شده تعادلی<sup>۲</sup> و اتمسفیری/رطوبتی اصلاح‌شده<sup>۳</sup>) انجام می‌گیرد که هدف تولید آن‌ها حفظ شرایط مطلوب گاز و رطوبت درون بسته‌بندی است. در جهت تأمین خواص ممانعتی، از روش‌های پوشش دهی، اصلاح شیمیایی الیاف چوبی، مشتقات خاص لیگنین و همی سلولزهای چوب، روش‌های لایه‌گذاری بخار شیمیایی و لایه‌نشانی اتمی، تیمارهای سطحی پلاسما و کرونا، اصلاح نشاسته و پروتئین استفاده می‌شود و به کمک این روش‌ها، مواد زیستی و زیست‌تخریب‌پذیر به‌جای مشتقات نفتی مصرف می‌شوند [۱]. در نتیجه می‌توان با مصرف کاغذهای نامرغوب، محصول مناسبی را برای بسته‌بندی مواد تهیه کرد و نیازی به کاغذ مرغوب با خواص ممانعتی خاص نیست. در ضمن اتو زنی در کاغذ پایه، باعث متراکم‌سازی الیاف شده و خواص ممانعتی نسبت به اکسیژن و بخار آب را بهبود می‌دهد. در پوشش دهی از کربنات کلسیم، خاک رس، ذرات نانو، دی‌اکسید تیتانیوم، بنتونیت، تالک و کائولن جهت پر کردن فضای بین الیاف و افزایش پیچ‌وخم مسیر مولکول‌های گاز استفاده می‌شود (شکل ۱) [۲] و انواع لاتکس، لایه نازک اکسید آلومینیوم، نشاسته اصلاح‌شده، آلکیل کتن دیمر<sup>۴</sup>، مشتقات لیگنینی و غیره به‌عنوان ماده آب‌گریز قابل استفاده هستند. در تحقیقاتی با استفاده از زایلان هیدروکسی آلکیل‌ت شده، خواص ممانعتی بسیار مناسبی ایجاد شده است؛ به طوری که نفوذپذیری نسبت به اکسیژن این کاغذ پوشش شده با بسیار زیستی، یک‌سوم پوشش پلی‌اتیلن ترفتالات<sup>۵</sup> بود [۳]. در اهداف ممانعتی مقادیر پوشش دهی بسته به نوع مواد، از ۳ تا ۲۰ گرم بر مترمربع متغیر است. همچنین روش پوشش دهی به‌کاررفته، وابسته به گرانی و درصد مواد جامد است که روش‌های پوشش دهی میله‌ای، تیغه‌ای، روزن‌رانی و غوطه‌وری، بر روی کاغذ قابل انجام است [۴].

Arbatan و همکاران (۲۰۱۲)، در ابتدا کاغذ صافی را

<sup>1</sup> Modified atmosphere packaging (MAP)

<sup>2</sup> Equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP)

<sup>3</sup> Modified atmosphere/modified humidity packaging (MA/MH)

<sup>4</sup> AKD

<sup>5</sup> PET

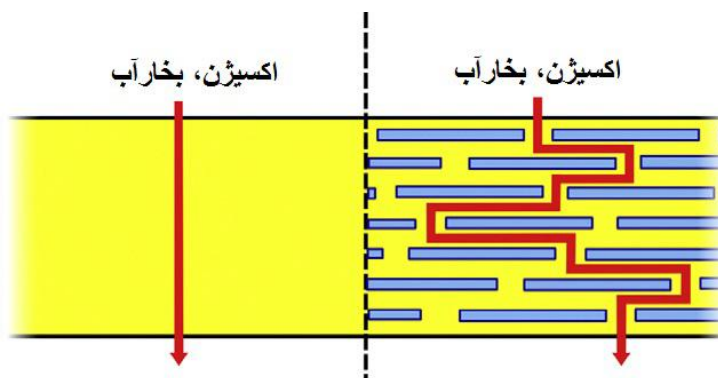
<sup>6</sup> binder

<sup>7</sup> P3HB

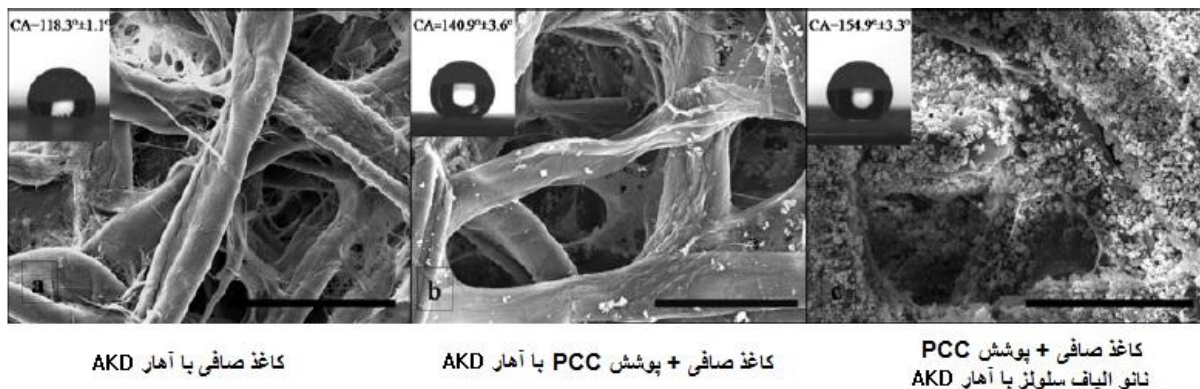
<sup>8</sup> PLA

PLA شرایط بهتری را نشان داد [۷].

به نمونه شاهد تیمار نشده اصلاح شد. مقاومت به آب در پوشش PHB و مقاومت نسبت به روغن در نمونه پوشش



شکل ۱- افزایش پیچ و خم مسیر عبور مولکول‌های گاز در لایه پوششی کاغذ



شکل ۲- سطوح فوق آب‌گریز با استفاده از آهار AKD، پوشش‌های معدنی و نانو الیاف سلولزی

تاخوری در هر دو جهت راستای ماشین (MD) و جهت عرضی ماشین کاغذ (CD)، کاهش یافت [۹]. به علت افزایش قیمت محصولات پتروشیمی و نگرانی‌های زیست‌محیطی، توسعه مواد حاصل از بسپارهای طبیعی برای کاربردی‌های مختلف، موضوع مهم تحقیقات چند سال اخیر بوده است. در این دو دهه، انواع نشاسته‌های اصلاح‌شده و بسپارهای زیست‌تخریب‌پذیر توسعه یافته‌اند، اما به‌تازگی مورد توجه بخش زنجیره عرضه مواد غذایی قرار گرفته است؛ بنابراین، در این بررسی از مواد زیست‌تخریب‌پذیر نشاسته کاتیونی، پلی‌لاکتیک‌اسید و پلی‌وینیل‌استات<sup>۱</sup> استفاده شده است که فقط پلی‌وینیل‌استات یک ماده صنعتی است، ولی دارای خواص

محققانی اثر پیش‌تیمار کرونا را بر کارایی لایه ممانعتی توسط ALD بر مقوای پوشش شده با بسپار بررسی کردند. دو نوع مقوای پوشش شده پلی اتیلن و پلی لاکتیک تحت تیمار کرونا قرار گرفت و سپس عملیات ALD با ذرات  $\text{TiO}_2$  و  $\text{SiO}_2$  انجام گرفت. تأثیر پیش‌تیمار کرونا بر مقوای پوشش شده با بسپار زیستی اندک بود ولی در ممانعت نسبت به اکسیژن، لایه‌نشانی  $\text{SiO}_2$  بر مقوای پوشش شده با بسپار زیستی تأثیر بیشتری داشت [۸].

در تحقیقی در سال ۲۰۱۲، تیمار پلاسما ی هگزا فلورید گوگرد را در زمان‌های مختلف بر روی مقوا بررسی کردند؛ که خواص ممانعتی آب، روغن و اکسیژن در مقوا، بهبود یافت و فقط با ۲ ثانیه تیمار پلاسما خواص ممانعتی مطلوب نسبت به آب؛ به دست آمد و با افزایش زمان تیمار، مقاومت نسبت به روغن ایجاد شد، ولی مقاومت به

<sup>۱</sup> PVA

تخریب‌پذیری در طبیعت است.

تجاری APC از حلقه کاغذ تولیدشده در انبار کارخانه چوب و کاغذ مازندران انتخاب و تعداد ۵۰۰ برگ در ابعاد A4 از آن‌ها برش داده شد که مشخصات کلی آن‌ها در جدول ۱ آمده است.

## مواد و روش‌ها

دو نمونه کاغذ کرافت لاینر و چاپ و تحریر بانام

جدول ۱- مشخصات کاغذهای پایه

مشخصات	کاغذ چاپ APC	کرافت لاینر
گراماژ	۸۰±۲	۱۲۰±۲/۵
رطوبت	۶±۱	۸/۵±۱/۵
ضخامت	۰/۱±۰/۰۱	۰/۱۷±۰/۰۱
Cobb 60	۳۰±۵	۳۳±۵

سانتی‌گراد مخلوط شده و سپس با افزودن آب مقطر، درصد مواد جامد به ۳۰ درصد تقلیل یافت و به مدت ۱۰ دقیقه مجدداً مخلوط شدند؛ که پس از محاسبه درصد مواد جامد این مقدار در هر دو ترکیب ۳۰/۷٪ تعیین گردید.

پس از کدگذاری نمونه‌های شاهد و قابل پوشش دهی، دو ترکیب با مقادیر مشابه (مقدار خاک رس، نشاسته کاتیونی، آب مقطر و درصد مواد جامد) ولی متفاوت در متصل‌کننده تهیه شدند (جدول ۲). ابتدا مواد به مدت یک ساعت با ۶۰ درصد مواد جامد، در دمای ۵۰ درجه

جدول ۲- مشخصات ترکیب‌های مواد پوشش دهی

فرمول (ترکیب) ۲ با PLA	فرمول (ترکیب) ۱ با PVA	فرمولاسیون
۱۰۰ گرم خشک	۱۰۰ گرم خشک	خاک رس (Clay)
۱۲ گرم خشک	۱۲ گرم خشک	نشاسته کاتیونی
۱۰ گرم PLA خشک	۱۰ گرم PVA خشک	متصل‌کننده متغیر (Binder)
۴۰۷ گرم	۴۰۷ گرم	آب مقطر

خاک رس و نشاسته کاتیونی همانند نمونه‌های کاغذ، از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه‌شده و پلی‌لاکتیک‌اسید و پلی‌وینیل‌استات از نمونه‌های آزمایشگاهی مرک تهیه گردید. تیمار غوطه‌وری هر نمونه کاغذ در ظرف مخصوص در زمان تعیین‌شده انجام شد. سپس به علت حذف مواد اضافی پوشش دهی در کاغذ مشابه روش تیغه‌ای، یک‌بار عمل کشیدن آرام هر سمت کاغذ بر لبه یک ورق فلزی، صورت گرفت. کلیه نمونه‌ها در قاب چوبی با گیره مهارشده و در دمای اتاق به مدت چند روز خشک شدند. شرایط دما و رطوبت اتاق به‌وسیله دماسنج و رطوبت‌سنج دیجیتال با مقادیر دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵۴ درصد، ثبت گردید.

نشاسته کاتیونی در ترکیب پوشش دهی، یک نوع متصل‌کننده محسوب می‌شود و به دلیل کاتیونی بودن امکان اتصال به الیاف و ذرات خاک رس را نیز فراهم می‌کند. بار سطحی ذرات خاک رس منفی و بار وجوه کناری آن مثبت است؛ که نشاسته کاتیونی قابلیت اتصال به سطح ذرات خاک و سازوکار پل‌زنی را نسبت به الیاف خواهد داشت. متصل‌کننده مورد استفاده در فرمول ۱ ترکیب پلی‌وینیل‌استات (PVA) و در فرمول ۲ ترکیب پلی‌لاکتیک‌اسید (PLA) بوده است. به‌منظور پوشش دهی، تیمار غوطه‌وری نمونه‌ها در دمای معمولی اتاق، در دو زمان مختلف ۱ و ۲ دقیقه و هم‌زمان در هر دو سمت توری و نمذ کاغذ صورت گرفت.

تأثیر بسیار خوب ترکیب ۱ حاوی PVA را نشان داد. از طرف دیگر با استفاده از ترکیب دوم مقادیر نفوذ هوا در نمونه‌های چاپ و تحریر به ترتیب در ۱ و ۲ دقیقه به ۱۹۲/۴ و ۲۵۹/۹۹ و در کاغذ کرافت لاینر به ۳۶۱/۶ و ۴۱۳/۶ ثانیه رسید که ارتقاء خواص ممانعتی را نسبت به نمونه‌های شاهد نشان می‌دهد. البته شایان ذکر است؛ که کلیه این زمان‌ها به ازای ۳۰۰ سانتی‌متر مکعب هوا است و برای به دست آوردن زمان عبور ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب هوا باید این اعداد بر عدد ۳ تقسیم شوند. سپس با مقایسه زمان‌های عبور هوا از بافت کاغذ مشخص شد که به دلیل افزایش زمان عبور هوا نسبت به نمونه‌های شاهد؛ پوشش ترکیب دوم نیز در برابر عبور هوا مقاومتی ایجاد کرده است که از نظر خواص ممانعتی مطلوب و همچنین ترکیبات این پوشش کاملاً طبیعی و زیست‌تخریب‌پذیر است. البته با مقایسه زمان عبور هوا بین دو ترکیب، نتیجه گرفته می‌شود که ترکیب ۱ نسبت به ترکیب ۲ مؤثرتر است؛ ولی ترکیب اول قابلیت زیست‌تخریب‌پذیری کمتری دارد. همچنین نفوذپذیری هوا در بافت کاغذ معیاری برای تخلخل بافت کاغذ است و می‌توان با انجام محاسبات تخلخل را تعیین کرد. شکل ۳ نشان می‌دهد که زمان اثر قابل‌ملاحظه‌ای بر نفوذپذیری کاغذ داشته و ترکیب ۱ و ۲ اثر مشابهی بر کاغذ چاپ و تحریر داشته است و حتی مقدار اندکی ترکیب PLA در زمان ۲ دقیقه ممانعت بهتری نسبت به PVA ایجاد کرد. درحالی‌که در کاغذ کرافت لاینر ترکیب ۱ حاوی PVA بسیار مؤثرتر از PLA است.

### بررسی جذب آب در کاغذ

آزمون جذب آب در دو سمت توری و نمدی کاغذ انجام شد و میانگین اعداد گزارش شده است. میزان مقادیر جذب آب در آزمون Cobb در طی مدت ۶۰ ثانیه تأثیر مطلوبی بر خواص ممانعتی نداشت و حتی جذب آب برخلاف انتظار افزایش یافت. درحالی‌که در تحقیق Shawaphun و Manangan (۲۰۱۰) مقادیر جذب آب کاهش یافت که به علت تفاوت در روش غوطه‌وری و وزن پوشش بیشتر در این مطالعه است. در کاغذ کرافت لاینر و با استفاده از ترکیب ۲ حاوی PLA افزایش جذب آب بسیار مشهودتر است. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، نسبت به نمونه‌های شاهد، کلیه تیمارها جذب آب را افزایش داده‌اند؛ ولی

جرم کاغذهای شاهد و تیمار شده با ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شده است. از طریق تفاضل جرم نمونه‌ها قبل و بعد از پوشش، مقدار وزن پوشش به دست آمده که عامل مهمی در خواص ممانعتی است. با توجه ابعاد کاغذ و جرم آن، مقدار وزن پایه کاغذ تعیین شد. ضخامت کلیه نمونه‌ها طبق استاندارد تاپی T411 به وسیله میکرومتر Sylvac/Swiss PTA اندازه‌گیری شد. زمان نفوذ ۳۰۰ میلی‌لیتر هوا از بافت کاغذ به عنوان مقاومت عبور هوا بر اساس استاندارد T460 با دستگاه Genuine Gurley 4320 Automatic Digital timer به دست آمد که گاهی به این آزمایش تخلخل نیز می‌گویند. این اعداد نفوذپذیری هوا برحسب ثانیه است و به علت گزارش برحسب ۱۰۰ میلی‌لیتر هوا، بر عدد ۳ تقسیم شدند. مقدار جذب آب یا Cobb در مدت ۶۰ ثانیه از طریق استاندارد T441 مشخص گردید.

سپس مقادیر ضخامت، نفوذپذیری هوا، جذب آب و جرم کلیه نمونه‌های شاهد و تیمار شده، در نرم‌افزار آماری SPSS 16.0 وارد شد. از طریق تفاضل جرم، مقدار وزن پوشش هر نمونه تعیین گردید که نمونه‌های شاهد به مقدار صفر و کاغذهای پوشش شده از ۱/۰۲ تا ۱/۸۵ گرم به دست آمد. با محاسبه حاصل ضرب این اعداد در عدد ۱۶ مقدار تقریبی وزن پوشش برحسب گرم بر مترمربع تعیین می‌شود، در نتیجه با توجه به ابعاد کاغذ مقدار وزن پوشش از ۱۶/۳۲ تا ۲۹/۶ گرم بر مترمربع حاصل شد. البته از تفاضل ضخامت و چگالی پوشش نیز با خطای بیشتر می‌توان به مقدار جرم مواد پوششی دست یافت. در نهایت با استفاده از تجزیه واریانس، آزمون دانکن و ضریب همبستگی، تحلیل این اطلاعات انجام گردید.

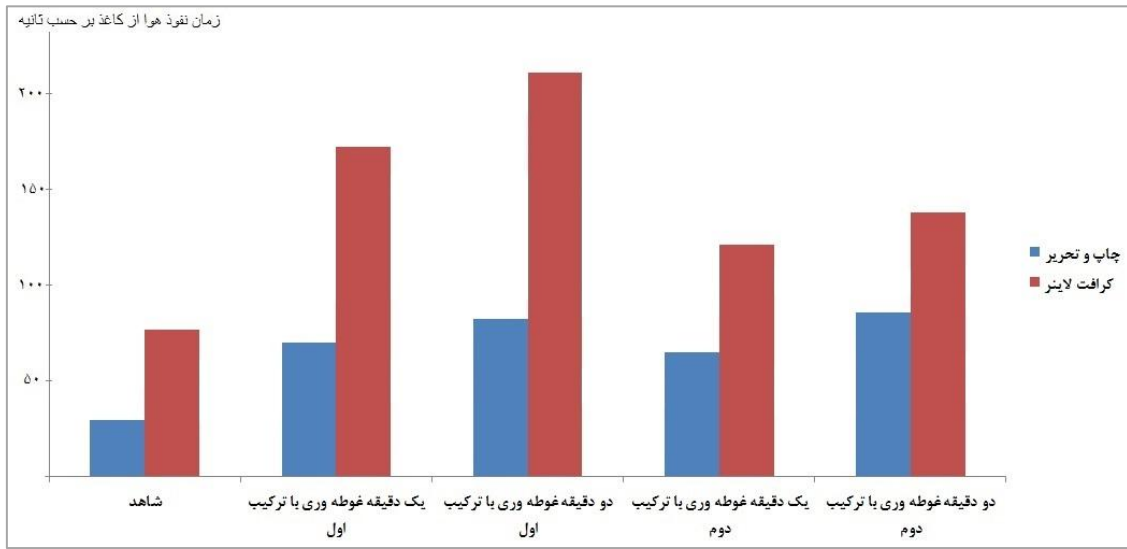
### نتایج و بحث

#### بررسی نفوذپذیری هوا در بافت کاغذ

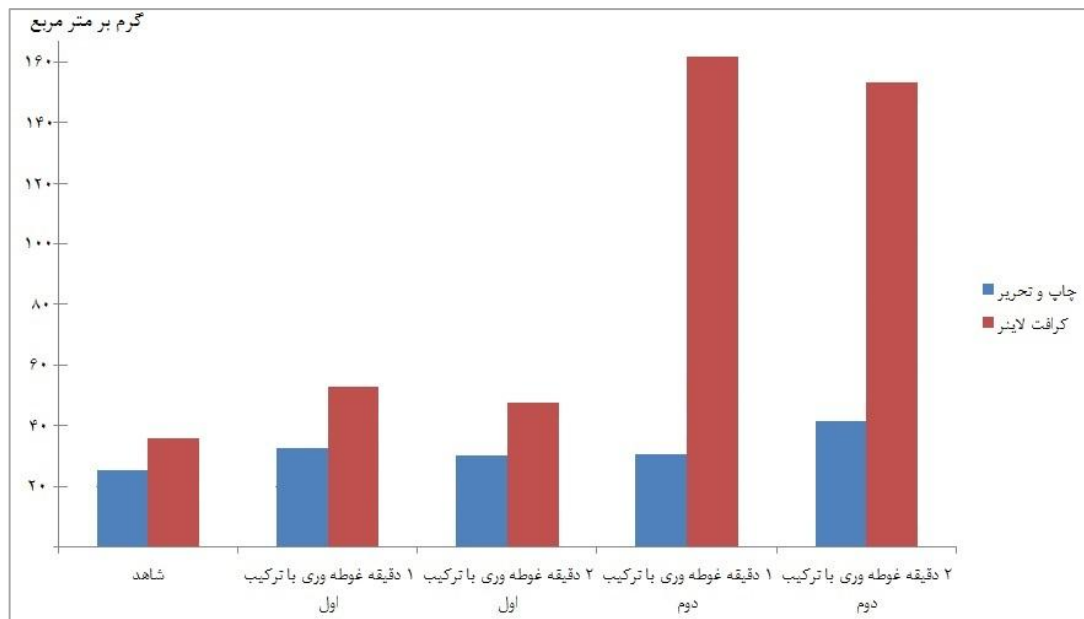
میانگین مقادیر زمان نفوذ ۳۰۰ سانتی‌متر مکعب هوا از ضخامت کاغذ به ترتیب در نمونه‌های شاهد چاپ و تحریر و کرافت لاینر ۸۸/۲۳ و ۲۲۹/۵۳ ثانیه بود. در حالی پس از ۱ دقیقه غوطه‌وری در ترکیب ۱ مقادیر به ۲۰۹/۸۲ و ۵۱۷/۶۳ ثانیه تغییر کرد و به ترتیب در زمان ۲ دقیقه نفوذپذیری این نمونه‌ها به ۲۴۵/۵ و ۶۳۲/۹۳ ثانیه رسید و

تحریر با ترکیب اول و دوم، بسیار اندک بود (۳۱ تا ۴۳ گرم بر مترمربع)، درحالی‌که این تفاوت در کاغذ پوشش شده کرافت لاینر بسیار فاحش بود. متوسط میزان Cobb در نمونه کرافت لاینر با ترکیب اول ۴۸/۵، ۵۴/۵ و با ترکیب دوم ۱۵۴، ۱۶۲ گرم بر مترمربع تعیین گردید.

افزایش زمان غوطه‌وری تأثیر مثبتی بر کم شدن نسبی جذب آب داشت. مقدار میانگین کل جذب آب در ترکیب ۱ و ۲ به ترتیب، ۴۱/۷۵ و ۹۷/۵ به دست آمد، که این میانگین بین نمونه‌های کاغذ چاپ تحریر ۳۴/۵ و در کاغذهای کرافت لاینر ۱۰۴/۷۵ گرم بر مترمربع بود. اختلاف جذب آب در نمونه‌های تیمار شده کاغذ چاپ



شکل ۳- اثر پوشش بر زمان نفوذ هوا از بافت کاغذ (بر حسب ثانیه)

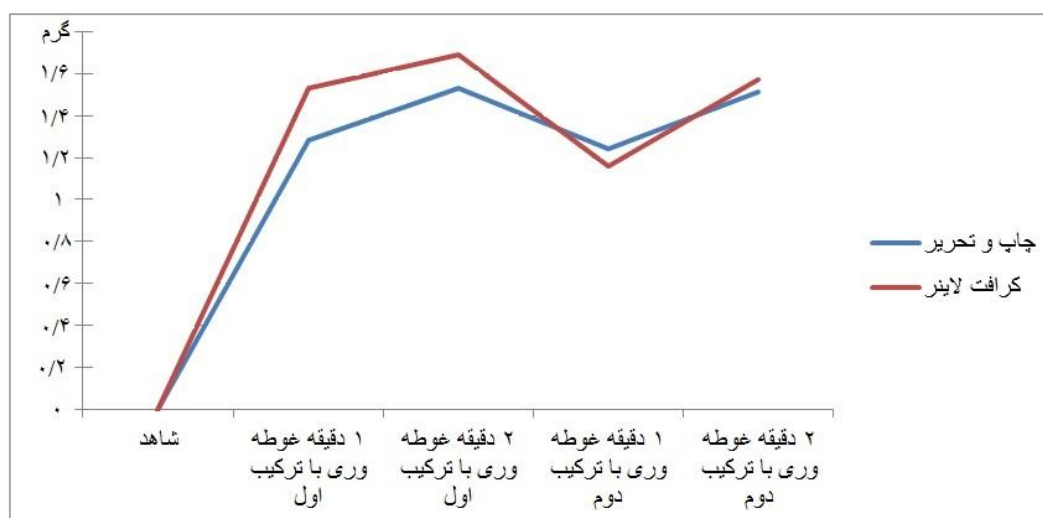


شکل ۴- اثر پوشش بر جذب آب یا Cobb در کاغذ (بر حسب گرم بر مترمربع)

### بررسی وزن پوشش و دانسیته کاغذ

همان طوری که با افزایش زمان غوطه‌وری، از نفوذ هوا و تخلخل کاغذ تیمار شده کاسته شد، مقدار وزن پوشش افزایش یافت که ترکیب اول اثر بیشتری بر وزن پوشش داشت. شکل ۵ مقادیر وزن پوشش نمونه‌های تیمار شده با ابعاد A4 را در دو نوع کاغذ نسبت به متغیر زمان و ترکیب نشان می‌دهد. با احتساب جرم کاغذ پایه و ابعاد آن می‌توان به گراماژ کاغذ دست‌یافت که با انجام همین محاسبات در کاغذهای تیمار شده و تفاضل آن‌ها، مقادیر وزن پوشش برحسب گرم بر مترمربع به دست می‌آید. میانگین گراماژ کاغذهای چاپ و تحریر و کرافت لاینر به ترتیب ۷۹/۶۸ و ۱۲۱/۴۴ محاسبه شد و نیز میانگین وزن پوشش در کاغذ چاپ و تحریر در ۱ و ۲ دقیقه در ترکیب اول ۲۰/۵۲۸ و ۲۴/۴۸ و در ترکیب دوم ۱۹/۸۴ و ۲۴/۲۷۲ گرم بر مترمربع حاصل شد. مقادیر وزن پوشش در نمونه کرافت لاینر در ۱ و ۲ دقیقه در ترکیب اول ۲۴/۵۳ و ۲۷/۰۹ و در ترکیب دوم ۱۸/۶۷ و ۲۵/۲۳ گرم

بر مترمربع تعیین گردید. فرمول ترکیب دوم حاوی PLA در کلیه موارد وزن پوشش کمتری را ایجاد کرد. از طریق رابطه تقسیم گرامان به ضخامت می‌توان به دانسیته کاغذ پی برد که از طریق همین رابطه، مقادیر دانسیته کاغذ و پوشش روی کاغذ قابل محاسبه است. دانسیته پوشش در کاغذ چاپ و تحریر در ۱ و ۲ دقیقه در ترکیب اول ۰/۶۳۵ و ۰/۷۱ و در ترکیب دوم ۰/۹۹۲ و ۰/۸۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد که در نمونه کرافت لاینر در ۱ و ۲ دقیقه در ترکیب اول ۰/۹۴ و ۰/۷۷ و در ترکیب دوم ۰/۵۵ و ۰/۷۱۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. دانسیته پوشش در کاغذ چاپ و تحریر تفاوت زیادی نداشته ولی در کاغذ کرافت لاینر با ترکیب ۱ مشابه کاغذ چاپ و تحریر است، ولی ترکیب ۲ وزن پوشش کمی را در این کاغذ ایجاد کرده که کاملاً شرایط افزایش جذب آب این نمونه‌ها را تصدیق می‌کند. چون همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، بیشترین مقادیر Cobb به کاغذ کرافت لاینر با پوشش ترکیب دارای PLA بود.



شکل ۵- اثر پوشش دهی بر وزن پوشش در کاغذ با ابعاد A4 (برحسب گرم)

تحریر غوطه‌ور شده به وسیله نوع ترکیب پوشش دهی دیده نشد. با استفاده از جدول آزمون دانکن مشخص شد که هر دو تیمار پوشش دهی و دو سطح زمان غوطه‌وری، در سطح ۵ درصد اثر معنی‌داری بر زمان عبور هوا داشت که البته این تأثیر وسیله ترکیب اول (حاوی PVA) در سطح ۱ درصد به معنادار شد.

### تحلیل آماری

بررسی آماری واقعیت‌های بیشتری را آشکار کرد؛ به طوری که زمان‌های ۱ و ۲ دقیقه غوطه‌وری اختلاف معناداری را در سطح ۰/۰۵ در نفوذپذیری بین نمونه‌های شاهد و تیمار شده کرافت لاینر و چاپ و تحریر ایجاد کرد، ولی تفاوت معناداری در نفوذپذیری بین کاغذهای چاپ و

کرافت لاینر و چاپ و تحریر است، که تأثیر نوع ترکیب پوشش دهی را در نفوذپذیری نشان می‌دهد. نفوذپذیری در کلیه تیمارهای کاغذ کرافت لاینر در سطح ۵ درصد تفاوت داشت. نسبت به زمان غوطه‌وری تیمارهای کاغذ چاپ و تحریر معنادار بوده ولی نسبت به ترکیب پوشش دهی معنادار نبودند. در اثر نوع ترکیب پوشش دهی، تغییرات جرم نمونه‌ها نیز در این تیمارها معنادار بود، ولی اختلاف ضخامت تفاوت معناداری نداشت که با در نظر گرفتن نوع کاغذ این تغییر ضخامت در سطح ۵ درصد معنادار شد. اثر معناداری در سطح ۱ درصد در جذب آب کاغذ کرافت لاینر ایجاد شد ولی کاغذ چاپ و تحریر تفاوت چندانی با نمونه‌های شاهد نداشت. مقدار جذب آب در کاغذ کرافت با استفاده از ترکیب اول و دوم در سطح ۱ درصد با یکدیگر و با شاهد معنادار شد. متغیر نوع ترکیب پوشش دهی در سطح ۱ درصد، نفوذپذیری کاغذ چاپ و تحریر را معنادار کرد ولی تفاوت معناداری بین دو این ترکیب در کاغذ چاپ و تحریر وجود نداشت.

تجزیه واریانس تأثیر مستقل و متقابل سطوح زمان غوطه‌وری در هر دو نمونه کاغذهای کرافت لاینر و چاپ و تحریر، معنی‌دار شدن تیمارها بر نفوذ هوا از بافت کاغذ را نمایان کرد. به همین ترتیب بررسی واریانس از طریق مقایسه میانگین‌ها در موارد ضخامت، جرم نمونه، وزن پوشش و جذب آب نیز انجام شد. میانگین جذب آب در نمونه‌های حاوی PLA بیشتر از سایر نمونه‌های پوشش شده با ترکیب PVA و شاهد به دست آمد و مقادیر جذب آب در کاغذهای چاپ و تحریر کمتر از کرافت لاینر بود. کلیه تیمارهای کاغذ کرافت لاینر در وزن پوشش، جرم و ضخامت تفاوت معناداری داشتند ولی در جذب آب تفاوت آن‌ها معنادار نبود. در نمونه‌های چاپ و تحریر شرایط مشابهی حاصل شد، اما اختلاف جذب آب در سطح ۵ درصد بین نمونه‌هایی با زمان ۲ دقیقه غوطه‌وری و شاهد مشاهده گردید.

جدول ۳ وضعیت آزمون واریانس جهت بررسی اثر نوع ترکیب (فرمول اول و دوم) در هر دو نمونه کاغذهای

جدول ۳- آزمون تجزیه واریانس اثر ترکیب مواد پوشش دهی در نفوذپذیری

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F محاسبه شده	سطح معنی‌داری
بین گروه‌ها	۲۸۶۱۸/۹۶۲	۲	۱۴۳۰۹/۴۸۱	۲۸/۷۸۹	۰/۰۰۰
	۵۹۶۴/۵۵۹	۱۲	۴۹۷/۰۴۷		
	۳۴۵۸۳/۵۲۱	۱۴			
کل					
در گروه‌ها	۵۱۴۸/۵۷	۲	۲۵۷۴/۲۸۵	۲۸/۴۱۲	۰/۰۰۰
	۱۰۸۷/۲۷۴	۱۲	۹۰/۶۰۶		
	۶۲۳۵/۸۴۳	۱۴			
کل					

### نتیجه‌گیری

همواره مصارف کاغذ و مقوا تغییراتی دارد که حتی محصولاتی جدیدی در این بین ساخته شده است و تولید کاغذهای بسته‌بندی در انواع متفاوتی عرضه خواهند شد. انواع مواد شیمیایی استفاده شده در بسته‌بندی‌هایی بر پایه مشتقات نفتی و تخریب‌ناپذیر، خطرات مختلف بیماری‌زایی را در انسان به وجود آورده است و مشکلات تهدید سلامتی ثابت‌شده‌ای دارند و دارای عوامل شیمیایی گوناگون ضدشکاف، مانند پلی‌بوتادین‌ها، پایدار کننده‌های گرمایشی، لغزنده کننده‌ها، رنگ‌ها، تأخیر اندازه‌های

اثر زمان غوطه‌وری در مقدار زمان عبور هوا از کاغذ کرافت لاینر در کلیه تیمارها در سطح ۰/۰۵ معنادار شد و ضریب همبستگی نفوذپذیری و وزن پوشش آن‌ها ۰/۸۸۵ تعیین گردید. درحالی‌که اثر نوع ترکیب پوشش دهی در کل نمونه‌های کاغذ چاپ و تحریر و کرافت لاینر در سطح ۰/۰۱ اثر معناداری بر نفوذپذیری کاغذ داشت. ضریب همبستگی نفوذپذیری و وزن پوشش در کاغذ چاپ و تحریر ۰/۹۵۲ و در نمونه‌های کرافت لاینر ۰/۸۲۹ بود. همبستگی ضخامت و جرم نمونه کرافت لاینر و چاپ و تحریر به ترتیب ۰/۹۰۲ و ۰/۹۳۴ تعیین گردید.



PLA بود و کلیه نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه‌های شاهد، دارای مقاومت به عبور هوای بیشتری بودند. میزان جذب آب نمونه‌ها در آزمون Cobb تأثیر مطلوبی بر خواص ممانعتی نداشت و کلیه تیمارها جذب آب را افزایش دادند که به علت افزایش موینگی در بافت کاغذ است و تر شوندگی کاغذ افزایش یافت. مقدار دانسیته پوشش در کاغذ چاپ و تحریر تفاوت مشخصی نداشت و در کاغذ کرافت لاینر با پوشش حاوی PVA مشابه دانسیته پوشش کاغذ چاپ و تحریر بود، ولی ترکیب دوم حاوی PLA دانسیته پوشش کمتری را ایجاد کرد که نشان‌دهنده تخلخل بیشتر در پوشش آن‌ها است و شرایط افزایش جذب آب این نمونه‌ها را تصدیق می‌کند. همان‌طور که در شکل ۴ دیده شد، بیشترین مقادیر Cobb در کاغذ کرافت لاینر با پوشش دارای PLA بود. تجزیه واریانس اثر معنادار نوع ترکیب و زمان پوشش دهی را، در نفوذپذیری و وزن پوشش کاغذ نشان داد و محاسبات، مقادیر ضخامت و چگالی پوشش وضعیت جذب آب نمونه‌های تیمار شده را تأیید کرد. ترکیب این مواد به منظور پوشش دهی ممانعتی نسبت به هوا مناسب است؛ ولی خاصیت ممانعتی مطلوبی در مقابل آب نداشت و با توجه به افزایش جذب آب در آزمون Cobb جهت کاربردهای چاپ پذیری، به مخصوص در جوهرهای بر پایه آب مفید به نظر می‌رسد. این تیمارهای پوششی به راحتی در خطوط تولیدی بسته‌بندی و صنایع تبدیلی کاغذ قابل استفاده است.

### سپاسگزاری

لازم است که نویسنده مسئول به دلیل تهیه نمونه‌های کاغذ و برخی از مواد لازم، از آقای مهندس علی برزن، تشکر و قدردانی کند.

شعله‌وری و غیره برای حفظ خواص حفاظتی، مکانیکی و ممانعتی هستند. در آینده نزدیکی به علت اتمام نفت خام و مسائل زیست‌محیطی، تولید آن‌ها متوقف خواهد شد؛ چون تجدیدپذیر نیستند و پدیده گرم شدن کره ی زمین را تسریع می‌کنند. جایگزینی این مواد با ترکیبات تجدیدپذیر و یا بر پایه زیست‌توده، بحث داغ چند سال اخیر است. در نتیجه اولین و بهترین گزینه کاغذ است که تبلیغ مصرف کاغذ به دلیل رشد جنگل کاری و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، اثرات مثبتی را در پی خواهد داشت. امروزه از نظر تجاری جایگزین کردن کاغذ در برخی از این موارد، قابل توجه نیست، ولی با به کارگیری روش‌هایی مثل پوشش چندگانه، تیمارهای سطح کاغذ و استفاده از فن‌آوری‌های نانو، در آینده نزدیک نیمه‌صنعتی و صنعتی شدن آن‌ها دور از ذهن نیست. همچنین شفافیت در زیبایی بسته بندی اهمیت دارد که نوار نانو الیاف سلولز بسیار شفاف ساخته شده است و خواص ممانعتی مطلوب آن نیز در آینده کاربرد وسیعی در بسته بندی خواهد داشت. تیمار کاغذ با موم و رزین، باعث آب‌گریزی می‌شود و این خاصیت در بسته‌بندی مواد غذایی مرطوب، سرد و منجمد کاربرد زیادی دارد. به دلیل مزایای متعدد موم‌های طبیعی، در سال‌های اخیر از کاندلیا، کارنابا و موم زنبور عسل در پوشش دهی کاغذهای بسته‌بندی استفاده شده است. تحقیقات جایگزین کردن کاغذ و مقوا در کلیه مواد بسته‌بندی؛ گام بزرگی در حل مشکلات زیست‌محیطی خواهد بود.

در این تحقیق؛ نشاسته کاتیونی نقش اتصال به سطح ذرات خاک و سازوکار پل زنی را در الیاف کاغذ داشت و همان‌طور که انتظار می‌رفت، افزایش زمان تیمار، موجب کاهش تخلخل و افزایش وزن پوشش در نمونه‌ها شد. از نظر نفوذپذیری هوا از بافت کاغذ، ترکیب PVA مؤثرتر از

### مراجع

- [1] Pykonen, M., Silvaani, H., Preston, J., Fardim, P. and Toivakka, M., 2009. Plasma activation induced changes in surface chemistry of pigment coating components. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 352:103–112.

- [2] Asadi khansari, R. and Dehghani Firouzabadi, M., 2013. Introduce of new paper and cardboard in food packaging, *Journal of Packaging Science and Technology*, 4(16):46-57. (In Persian).
- [3] Laine, C., Harlin, A., Hartman, J., Hyvärinen, S., Kammiovirta, K., Krogerus, B., Pajari, H., Rautkoski, H., Setälä, H., Sievänen, J., Uotila, J. and Vähä-Nissi, M., 2013. Hydroxyalkylated xylans—Their synthesis and application in coatings for packaging and paper. *Industrial Crops and Products*, 44:692-704.
- [4] Bollstrom, R., Tuominen, M., Maattanen, A., Peltonen, J. and Toivakka, M., 2012. Top layer coatability on barrier coatings. *Progress in organic coatings*, 73:26-32.
- [5] Arbatan, T., Zhang, L., Fang, X. and Shen, W., 2012. Cellulose nanofibers as binder for fabrication of superhydrophobic paper. *Chemical Engineering Journal*, 210:74-79.
- [6] Dellinger, D., Elie Jr, H., 2013. Composition for use in edible biodegradable articles and method of use. *Biosphere Industries Lic. US8382888 B2*.
- [7] Shawaphun, S. and Manangan, T., 2010. Paper Coating with Biodegradable Polymer for Food Packaging, *Sci. J. UBU*, 1(1):51-57.
- [8] Hirvikorpi, T., Vaha-Nissi, M., Harlin, A., Marles, J., Miikkulainen, V. and Karppinen, M., 2010. Effect of corona pre-treatment on the performance of gas barrier layers applied by atomic layer deposition onto polymer-coated paperboard. *Applied Surface Science*, 257:736–740.
- [9] Jinkarn, T., Thawornwiriyanan, S., Boonyawan, D., Rachtanapun, P. and Sane, S., 2012. Effects of treatment time by sulphur hexafluoride (SF6) plasma on barrier and mechanical properties of paperboard. *Packaging Technology and Science*, 25(1):19–30.

## The effect of biodegradable coatings on the barrier properties of papers

### Abstract

The objective of this work was to compare barrier property of biodegradable coatings on two base papers. Two different paper grades differing in structure (Kraft liner and printing & writing papers) were used. The papers were made in Mazandaran wood and paper industry. Coating materials with 30% solid content, included clay (100 parts) and cationic starch (12 parts), were mixed with two binders (PLA 10 parts and PVA 10 parts) for two formulations. The immersion method in both levels was 1 and 2 minutes and two coating formulations were applied on papers. Then, the treated samples were dried in standard room conditions (25°C of temperature and 54% of relative humidity). For that purpose, air resistance or porosity, thickness, mass, and Cobb60 were determined. As expected, time of treatment reduced porosity and increased coating weight, but in terms of barrier properties, combination containing PVA was more effective than PLA. In comparison to the control group, all treated samples had higher air resistance and water absorption due to an increase in capillary of texture paper. The analysis of results showed that the immersion coating factors had considerable effects on performance of air resistance improvement and coating weight of papers. Then, calculated values of the thickness and density of coating were evaluated, which confirmed the status of water absorption. The treatments greatly increased the wettability of the surface by water.

**Keywords:** coating, immersion of paper, barrier properties, poly lactic acid, polyvinyl acetate.

**R. Asadi Khansari**<sup>1\*</sup>  
**M. Dehghani Firouzabadi**<sup>2</sup>  
**H. Resalati**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PhD Student at Gorgan University of Natural Resources, Department of Pulp and Paper Technology, Lecturer, Technical & Vocational Faculty of Someesara

<sup>2</sup> Department of pulp and paper industry, PhD, Wood and Paper Industry, Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

<sup>3</sup> Department of pulp and paper industry, PhD, Wood and Paper Industry, Professor, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Corresponding author:  
[rasadikhansari@gmail.com](mailto:rasadikhansari@gmail.com)

Received: 2015.06.12  
Accepted: 2015.09.06

