

# مقایسه ویژگی‌های فیلم‌های کامپوزیت زیست تخریب‌پذیر بر پایه نشاسته حاوی کندر، زئین و پلی وینیل الکل با هدف کاربرد در بسته‌بندی محصولات غذایی

فرشته حسینی<sup>۱\*</sup>، محمد باقر حبیبی نجفی<sup>۲</sup>، عبدالرسول ارومیه ای<sup>۳</sup>، مسعود یاورمنش<sup>۴</sup>، مهدی نصیری محلاتی<sup>۵</sup>

۱- استادیار گروه پژوهشی افزودنی‌های غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی  
 ۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
 ۳- دانشیار گروه پلیاستیک، پژوهشکده فرایند، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران  
 ۴- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
 ۵- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
 (تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۱۶)

## چکیده

یکی از روش‌های موثر در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از تجمع مواد پلاستیکی، تولید و کاربرد فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر در بسته‌بندی محصولات غذایی است. در این پژوهش، فیلم‌های کامپوزیت زیست تخریب‌پذیر بر پایه نشاسته شامل نشاسته-کندر، نشاسته-زئین و نشاسته-پلی وینیل الکل<sup>۱</sup> ساخته شده و ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و رنگی آن‌ها در مقایسه با فیلم نشاسته خالص مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد کاربرد کندر، زئین و PVA سبب کاهش معنی‌دار میزان حلالیت در آب فیلم نشاسته می‌شود به طوری که حلالیت کامپوزیت نشاسته-زئین ۳۲/۸٪، نشاسته-کندر ۳۵/۸٪ و نشاسته-PVA ۴۷/۵٪ در مقایسه با فیلم نشاسته خالص (۷۸/۲٪) تعیین شد. اضافه شدن PVA در فرمولاسیون نشاسته، سبب افزایش معنی‌دار مقاومت به کشش (TS) در کامپوزیت گردید. همچنین درصد ازدیاد طول (E) نمونه‌های فیلم کامپوزیت نسبت به فیلم نشاسته خالص افزایش داشت که این افزایش در فیلم نشاسته-PVA به طور معنی‌دار بالاتر از سایر نمونه‌ها بود. فیلم نشاسته-PVA کمترین ارزش‌های رنگی ( $L^*a^*b^*$ ) و تفاوت رنگ‌سنجی کل ( $\Delta E$ ) را به خود اختصاص داد و شفاف‌تر از سایر نمونه‌ها بود. مجموع نتایج این پژوهش حاکی از آن است که برای غلبه بر دو محدودیت مهم شامل خواص مکانیکی ضعیف و حلالیت بالا در آب، زئین و PVA پیشنهاد مناسبی برای ترکیب با نشاسته و تولید کامپوزیت می‌باشند.

**کلید واژگان:** زئین، اکستروژن، زیست تخریب‌پذیر، پلی وینیل الکل، WVP

\* مسئول مکاتبات: fereshtehosseini@yahoo.com

1. Poly Vinyl Alchole (PVA)

## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر متخصصان و دست‌اندرکاران صنعت غذا همواره به دنبال یافتن جایگزین‌های زیست تخریب‌پذیر مناسب برای پلیمرهای سنتزی مورد استفاده در بسته‌بندی محصولات غذایی بوده‌اند. فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر با گردش آب، دی اکسید کربن، اکسیژن و نیتروژن در زنجیره غذایی، راه حل مناسبی برای رفع تاثیرات مخرب محیطی ناشی از تجمع مواد پلاستیکی و غیر تخریب‌پذیر می‌باشند [۱].

در تولید فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر معمولاً بیوپلیمرها نظیر پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها، صمغ‌ها و سایر ترکیبات به کار گرفته می‌شوند. در این میان نشاسته به دلیل زیست تخریب‌پذیری بالا، ارزانی، در دسترس بودن، ایمنی مصرف و کاربرد آسان به عنوان یک ماده خام مناسب در ساختار بسیاری از فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر کاربرد دارد. در سال‌های اخیر پژوهشگران متعددی کاربرد نشاسته حاصل از منابع مختلف را برای تولید فیلم‌ها و پوشش‌ها مورد بررسی قرار داده‌اند از جمله دیاس و همکاران (۲۰۱۰) فیلم زیست تخریب‌پذیر بر پایه نشاسته برنج تهیه کرده و خواص فیزیکوشیمیایی، مکانیکی و میکروسکوپی آن را گزارش نمودند. فو و همکاران (۲۰۱۰) فیلم نشاسته را با استفاده از روش فشار بالا تولید کرده و گزارش کردند که این فیلم دارای خصوصیات ممانعت‌کنندگی از رطوبت و ویژگی‌های مکانیکی قابل قبول می‌باشد. رومروباستیدا و همکاران (۲۰۰۵) از نشاسته‌های غیرمتداول شامل نشاسته موز و نشاسته انبه، فیلم تهیه کرده و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ریزساختار آنها را مورد مطالعه قرار دادند. تالجا و همکاران (۲۰۰۸) فیلم نشاسته سیب‌زمینی را به روش قالب‌گیری تهیه کرده و تاثیر امولسیفایرهای مختلف را بر ویژگی‌های فیلم‌های حاصل گزارش کردند [۳، ۴، ۲، ۱].

به دلیل ویژگی آبدوستی نشاسته، فیلم‌های حاصل از آن قابلیت جذب آب و حلالیت بالایی از خود نشان می‌دهند که این امر کاربرد آن‌ها را به تنهایی به عنوان پوشش و فیلم محدود می‌کند زیرا فیلم تولید شده بلافاصله در اثر تماس با سطح ماده غذایی مرطوب، حل شده و ساختار خود را از دست خواهد داد. همچنین محققان مختلف فیلم حاصل از نشاسته را فیلمی با خواص مکانیکی ضعیف معرفی نموده‌اند [۶، ۵]. لذا در تحقیقات متعددی نشاسته به صورت ترکیبی با دیگر پلیمرهای طبیعی و ترکیبات مختلف در تهیه فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر

مورد استفاده قرار گرفته و ویژگی‌های عملکردی و مکانیکی فیلم‌های حاصل بررسی شده است، از جمله مندز و همکاران (۲۰۱۶) ترکیب نشاسته ذرت و چیتوزان را برای تولید فیلم زیست تخریب‌پذیر مورد استفاده قرار داده و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مکانیکی فیلم حاصل را مطلوب توصیف کردند. آرگوئولوگاریا و همکاران (۲۰۱۴) نشاسته ذرت اکسید شده و زئین را برای تولید فیلم مورد استفاده قرار داده و ویژگی‌های فیلم حاصل را گزارش نمودند. قنبرزاده و همکاران (۲۰۱۰) نشاسته خوراکی اصلاح شده همراه با کربوکسی متیل سلولز را برای تولید فیلم استفاده نموده و خواص فیزیکی فیلم حاصل را گزارش نمودند [۷، ۸، ۹].

با توجه به عدم وجود اطلاعات مقایسه‌ای از چگونگی تاثیر بیوپلیمرهای طبیعی بر عملکرد فیلم نشاسته، در این پژوهش با هدف بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم نشاسته و معرفی جایگزینی زیست تخریب‌پذیر برای فیلم‌های سنتزی، فیلم‌های ترکیبی نشاسته/کندر، نشاسته/زئین و نشاسته/PVA ساخته شده و ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و رنگی آن‌ها با فیلم نشاسته معمولی مورد مقایسه قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

نشاسته ذرت از شرکت گلوکوزان، کندر از بازار محلی، زئین از شرکت سیگما و پلی وینیل الکل (PVA) از شرکت مرک آلمان تهیه شد. کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت مرک آلمان و آنزیم آلفا آمیلاز از شرکت سروا آمریکا خریداری شد.

### ۲-۲- تهیه فیلم‌های کامپوزیت

برای تهیه فیلم کامپوزیت نشاسته-زئین، نسبت ۸۰٪ نشاسته به همراه ۲۰٪ زئین و ۳۰٪ وزنی-حجمی نشاسته، گلیسرول به عنوان نرم‌کننده مورد استفاده قرار گرفت. به منظور ترکیب نشاسته و زئین، روش اکستروژن با استفاده از اکسترودر برابندر دو مارپیچه همسو گرد به کار گرفته شد تا گرانول‌های نشاسته-زئین تولید شود. دمای نواحی حرارتی ۱ تا ۵ دستگاه اکسترودر به ترتیب ۱۳۰، ۱۳۰، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۲۸ درجه سانتیگراد و دورهای ۶۰ rpm بود. مقدار ۳ گرم از گرانول‌های به دست آمده به مدت یک شب در محلول آب-تانول به نسبت ۵۰:۵۰ خیسانده شدند. سوسپانسیون حاصل به مدت ۱ ساعت بر روی

ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ تعیین گردید. دانسیته از تقسیم وزن نمونه‌ها بر حجم (رابطه ۱) محاسبه گردید [۱۰]:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

## ۲-۴- حلالیت فیلم در آب

به این منظور قطعات ۲×۳ سانتیمتری از هر فیلم بریده شده و در دسیکاتور حاوی سلیکاژل (رطوبت نسبی صفر) به مدت ۷ روز نگهداری شد. پس از طی این مدت نمونه‌ها با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین شده و در بشرهای آزمون محتوی ۸۰ سی سی آب د یونیزه قرار گرفتند. نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت بر روی شیکر با دور ۵۰rpm در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد بهم زده شدند. سپس قطعات باقیمانده فیلم در آن ۶۰ درجه تا رسیدن به وزن ثابت خشک شده و مجدداً توزین گردیدند. درصد حلالیت از رابطه ۲ محاسبه گردید [۱]:

$$100 \times \frac{\text{وزن نهایی} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} = \text{درصد حلالیت}$$

## ۲-۵- پایداری در محلول‌های اسیدی و قلیایی

به منظور تعیین میزان مقاومت فیلم‌ها در محلول‌های اسیدی و قلیایی، روش مشابه تعیین حلالیت فیلم‌ها در آب مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور قطعات با ابعاد یکسان از فیلم‌ها تهیه و به مدت یک هفته در رطوبت نسبی صفر نگهداری شدند. نمونه‌ها پس از توزین با دقت ۰/۰۰۰۱، در ارلن‌های محتوی ۲۵ سی سی محلول‌های ۰/۱ نرمال هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک قرار گرفتند و به طور مداوم به مدت یک ساعت بر روی شیکر با دور ۵۰rpm در دمای ۲۵ درجه به مزده شدند [۱۱]. قطعات باقیمانده فیلم با کمک فیلتر کاغذی از محلول جدا شده و تا رسیدن به وزن ثابت در آن ۶۰ درجه خشک و سپس توزین گردیدند. میزان پایداری فیلم‌ها در محلول‌های اسیدی و قلیایی بر اساس درصد حلالیت آن‌ها در محلول‌های مذکور تعیین شد.

## ۲-۶- عبور نور و شفافیت

ویژگی ممانعت‌کنندگی در برابر نور مرئی در فیلم‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل CAMSPEC M550 ساخت انگلستان در طول موج تعیین شده اندازه‌گیری گردید. بدین منظور قطعات ۴×۱ سانتیمتری از فیلم‌ها بریده شده و ضخامت آن‌ها در ۵ نقطه در امتداد فیلم اندازه‌گیری شد و سپس قطعه

هیتر مگنت طی هم زدن مداوم حرارت داده شد. ژل یکنواخت تولید شده بر روی پلیت و به مدت ۴۸ ساعت در مجاورت هوا خشک شد تا فیلم مورد نظر به دست آید.

به منظور تهیه فیلم مرکب نشاسته-PVA، نسبت ۵۰٪ نشاسته و ۵۰٪ PVA به همراه ۳۰٪ وزنی-حجمی نشاسته، گلیسرول به عنوان نرم کننده مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر ۲ گرم نشاسته و ۲ گرم PVA در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۱ شب خیسانده شدند. سوسپانسیون حاصل پس از افزودن مقدار مناسب گلیسرول، به مدت ۱ ساعت بر روی هیتر مگنت با دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد و تحت همزدن شدید قرار گرفت تا ژل یکنواخت حاصل شود. ژل ایجاد شده، در پلیت ۲۰ سانتیمتری ریخته شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط خشک شد تا فیلم مطلوب تشکیل شود.

فیلم مرکب نشاسته-کندر، از نسبت ۸۵/۷٪ نشاسته و ۱۴/۳٪ کندر به همراه ۳۰٪ وزنی-حجمی نشاسته، گلیسرول به عنوان نرم کننده تولید شد. برای تولید فیلم، سوسپانسیون ۳ گرم نشاسته با ۵/۰ گرم پودر کندر به همراه ۳۰٪ وزنی-حجمی گلیسرول تهیه شده و بر روی هیتر مگنت حرارت داده شد. ژل به دست آمده در پلیت ریخته شده و به مدت ۴۸ ساعت در مجاورت هوا خشک شد تا فیلم مناسب حاصل شود. فیلم شاهد (نشاسته)، از محلول ۳٪ نشاسته به همراه ۳۰٪ وزنی/حجمی نشاسته، گلیسرول به عنوان پلاستی سایزر به محلول افزوده شده و سوسپانسیون حاصل به مدت ۲۵ دقیقه بر روی اجاق برقی حرارت داده شد تا ژل مناسب تشکیل شود. در نهایت مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر از ژل مذکور بر روی قالب فلونی با ضخامت ۳۰۰ میکرون به طور یکنواخت پهن شده و به مدت ۴۸ ساعت در مجاورت هوا و دمای محیط خشک گردید تا فیلم مورد نظر بدست آید.

## ۲-۳- تعیین ضخامت و دانسیته

ضخامت فیلم‌های تولیدی توسط میکرومتر دیجیتال مدل QLR digit-IP54, China و در ۵ نقطه از نمونه‌های فیلم اندازه‌گیری گردید. برای تعیین دانسیته، قطعات مستطیل شکل از فیلم‌ها به ابعاد ۲×۳ سانتیمتر تهیه شده و به مدت ۱۰ روز در دسیکاتور حاوی سلیکاژل در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. سپس ضخامت آن‌ها در ۵ نقطه (۴ نقطه در پیرامون و یک نقطه در مرکز) اندازه‌گیری شده و وزن آن‌ها با استفاده از

فیلم مشروط شده در این منفذ قرار داده شد. در هر ظرف معادل ۴ گرم سولفات کلسیم که رطوبت نسبی معادل صفر ایجاد می‌کند، ریخته شد. لازم به ذکر است که سولفات کلسیم قبل از استفاده به مدت ۲ ساعت در آون ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار داده شد تا فاقد هر گونه رطوبت احتمالی گردد. سپس ظروف شیشه‌ای و محتویات آنها توزین شده و در داخل دسیکاتور حاوی محلول اشباع کلرید سدیم که رطوبت نسبی ۷۵٪ ایجاد می‌کند، قرار گرفتند. دسیکاتور داخل اینکوباتور ۲۵ درجه سانتیگراد قرار داده شد و به مدت ۴ روز هرچند ساعت یکبار ظروف توزین گردیدند. میزان انتقال بخار آب از رابطه ۷ محاسبه گردید:

$$WVP = \frac{m L}{A t \Delta p} \left[ \frac{g \text{ mm}}{m^2 d \text{ kPa}} \right] \quad (۷)$$

در این رابطه  $m$  میزان افزایش وزن ظروف بعد از گذشت زمان آزمون،  $L$  ضخامت فیلم،  $A$  مساحت موثر فیلم،  $t$  مدت زمان آزمون و  $\Delta p$  تفاوت فشار بخار بیرون و درون ظروف آزمایش می‌باشد.

## ۲-۹- ویژگی‌های مکانیکی

ویژگی‌های مقاومت به کشش<sup>۲</sup> (TS) و درصد افزایش طول تا نقطه پارگی (%E) بر اساس استاندارد 02-ASTM, D882 و با اندکی تغییرات به وسیله دستگاه بافت سنسج LLOYD مدل RS 232 ساخت شرکت AMETEK آمریکا اندازه‌گیری گردید. به این منظور ابتدا قطعات فیلم به ابعاد ۱۰×۲ سانتیمتر بریده شده و ضخامت آنها در ۱۰ نقطه در امتداد فیلم اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در دسیکاتور محتوی محلول اشباع کلرید سدیم (رطوبت نسبی ۷۵٪) به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند تا از نظر میزان رطوبت تعدیل گردند. برای انجام آزمایشات فاصله بین دو فک قبل از شروع آزمون ۵۰ میلی‌متر، سرعت حرکت فک ها ۵۰ min/mm و سلول بار ۵۰ نیوتن تنظیم شد. مقاومت به کشش و درصد افزایش طول تا نقطه پارگی با روابط ذیل تعیین شدند [۱۶]:

(۸)

$$\text{Tensile Strength} = \frac{\text{Maximum Load}}{\text{Cross sectional area of samples}}$$

2. Tensile strength

فیلم در دیواره شفاف داخل سل کوارتزی دستگاه قرار داده شده و میزان جذب نمونه قرائت گردید. شفافیت از رابطه ۳ محاسبه شد [۱۳]:

$$\text{Transparency} = \frac{A_{600}}{X} \quad (۳)$$

در این معادله  $A_{600}$  میزان جذب در طول موج ۶۰۰ نانومتر و  $X$  متوسط ضخامت فیلم بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

## ۲-۷- ویژگی‌های رنگی

رنگ نمونه‌های فیلم با استفاده از دستگاه هانترلب مدل colorflex ساخت امریکا و بصورت ارزش-های CIELAB شامل  $L^*$  (روشنی)،  $a^*$  (قرمزی-سبزی) و  $b^*$  (زردی-آبی) ثبت گردید. رنگ سنج قبل از انجام آزمایش‌ها با استفاده از کاشی سیاه و سفید (x=77.25, y=82.09 z=87.27) استاندارد شد. هر نمونه فیلم در ۶ زاویه مختلف در دستگاه قرار گرفته و ارزش‌های فوق قرائت گردید. نمونه پلاستیک شفاف سلوفان به عنوان شاهد انتخاب شده و برای بدست آوردن همبستگی بهتر بین تفاوت‌های کالریمتری کودیداری، تفاوت رنگ‌سنجی کل ( $\Delta E$ ) برای هر نمونه نسبت به نمونه شاهد از فرمول زیر (رابطه ۴) محاسبه شد:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (۴)$$

پارامتر  $C$  یا کروما از طریق تبدیل مختصات کارتزین ( $a^*$ ,  $b^*$ ) به مختصات قطبی بر اساس رابطه ۵ به دست آمد [۱۴]:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (۵)$$

همچنین ضریب سفیدی<sup>۱</sup> (WI) نمونه‌های فیلم بر اساس رابطه ۶ تعیین گردید [۱۵]:

$$WI = 100 - \left[ (100 - L)^2 + a^2 + b^2 \right]^{0.5} \quad (۶)$$

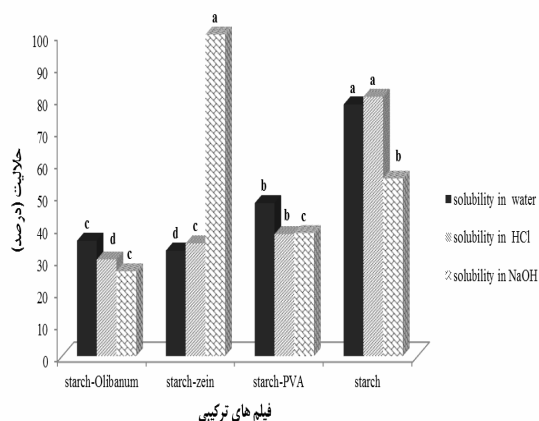
## ۲-۸- انتقال بخار آب

میزان انتقال بخار آب فیلمها بر اساس ASTM E96(2001) و به روش دسیکانت تعیین شد [۱۶]. ابتدا فیلم‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دسیکاتور با رطوبت نسبی معین، تعدیل رطوبتی گردیدند. برای انجام آزمایش از ظروف شیشه‌ای ویژه‌ای به قطر ۲/۵ و ارتفاع ۸ سانتیمتر استفاده شد. روی درپوش این ظروف منفذی به قطر ۱۸ میلی‌متر تعبیه شده بود که قطعه‌ای از

1. whiteness index

ترموپلاستیک بوده و محصول جانبی صنایع تولید آرد ذرت است [۱۸]. ویژگی‌های ممانعت‌کنندگی خوب زئین، آن را به عنوان یک پوشش مناسب برای استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی مطرح کرده است به طوری که در مطالعات مختلفی از زئین به تنهایی در تولید فیلم بسته‌بندی استفاده شده است [۱۸، ۲۰، ۱۹، ۲۱]. همچنین زئین به عنوان جزء ترکیبی برای پلاستیک‌های متداول نظیر پلی‌پروپیلن نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۲۲].

در پژوهش گو و همکاران، میزان حلالیت در آب فیلم زئین خالص ۱۳/۰۳٪ گزارش شده است که بسیار کمتر از فیلم نشاسته (۷۸/۲۵٪) در پژوهش حاضر می‌باشد [۲۳]. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده در پژوهش ما، فیلم ترکیب نشاسته-زئین حلالیتی معادل ۳۲/۸٪ دارد که به دلیل ورود ترکیب هیدروفیل نشاسته در ساختار فیلم می‌باشد. در فیلم‌های ترکیبی نشاسته-زئین با افزایش میزان نشاسته، حلالیت افزایش می‌یابد [۲۴].



**Fig 1** Solubility in water, stability in acid and alkali solution of composites.

### ۲-۳- پایداری در محیط‌های اسیدی و قلیایی

مطابق شکل ۲، پایداری کلیه فیلم‌های دوجزئی در محیط اسیدی نسبت به فیلم نشاسته افزایش داشته است. در محیط قلیایی نیز فیلم‌های دو جزئی به جز فیلم نشاسته-زئین مقاومت بالاتری نسبت به فیلم نشاسته از خود نشان دادند.

تحقیقات نشان داده‌اند که پروتئین‌ها در محیط قلیایی دچار چهار نوع واکنش هیدرولیز می‌شوند که یکی از مهمترین آن‌ها هیدرولیز باندهای آمیدی در گلوتامین و آسپاراژین است. در محیط کمی قلیایی، دامیده شدن باندهای آمیدی به سرعت اتفاق می‌افتد. یون هیدروکسید به گروه کربونیل آمید متصل شده و سبب جدا شدن گروه NHR می‌شود که این امر سبب

(۹)

$$\%E = \frac{\text{Elongation at breaking point}}{\text{original length}}$$

که Maximum load، بیشینه نیروی وارد شده به فیلم بر حسب نیوتن و Cross-sectional area سطح مقطع عرضی اولیه فیلم بر حسب متر مربع، Elongation at breaking point، مقدار افزایش طول تا لحظه پارگی بر حسب میلی‌متر و original length طول اولیه نمونه بین دو فک (میلی‌متر) می‌باشد.

### ۲-۱۰- آزمون زیست تخریب پذیری

در این آزمون نمونه‌های فیلم در ابعاد ۴×۴ سانتیمتر بریده شده و پس از توزین با ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، داخل فلاسک‌های محتوی ۲۵ میلی‌لیتر محلول آلفا آمیلاز (۲۰۰ unit/ml) قرار داده شدند. فلاسک‌ها به مدت ۳۶ ساعت داخل اینکوباتور شیکردار با دور ۱۲۰ rpm و دمای ۳۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. پس از طی زمان مورد نظر وضعیت نمونه‌ها از نظر هضم آنزیمی مورد بررسی قرار گرفت [۱۷].

### ۲-۱۱- روش آماری

کلیه آزمایشات فوق در ۳ تکرار انجام شده و در قالب طرح کاملا تصادفی آنالیز واریانس گردیدند. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم افزار MSTAT-C و آزمون LSD در سطح  $\alpha = 0/05$  صورت گرفت. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- حلالیت فیلم‌ها در آب

مطابق شکل ۱، افزودن کندر، زئین و PVA سبب کاهش معنی‌دار میزان حلالیت در آب فیلم نشاسته شده است ( $p \leq 0/05$ ). بر اساس نتایج به دست آمده، کامپوزیت نشاسته-زئین کمترین میزان حلالیت را نسبت به دو ترکیب نشاسته-کندر و نشاسته-PVA داشته است.

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده است که مخلوط کردن نشاسته با پروتئین‌ها، حساسیت آن را نسبت به آب کاهش می‌دهد. در میان پروتئین‌ها، زئین به دلیل دارا بودن اسیدهای آمینه غیرقطبی در ساختار خود، گزینه مناسبی بدین منظور است. زئین یک پروتئین محلول در الکل می‌باشد که آبگریز و

مشاهده می‌شود، ضریب انتقال بخار آب در فیلم نشاسته/PVA نسبت به نشاسته معمولی پایین‌تر و در فیلم‌های نشاسته/کندر و نشاسته/زئین نسبت به نشاسته معمولی بالاتر بوده است، این امر را می‌توان به ساختار غیرهمگن‌تر فیلم‌های نشاسته/کندر و نشاسته/زئین در مقایسه با فیلم نشاسته نسبت داد.

ماتو و همکاران، در مطالعات ساختار میکروسکوپی (SEM) خود بر روی مخلوط نشاسته/PVA و مقایسه آن با فیلم نشاسته خالص مشاهده نمودند که افزودن PVA به نشاسته سبب می‌شود تا ساختار فیلم صاف‌تر و یکنواخت‌تر و بدون ترک‌های سطحی شود. این محققان گزارش کردند ناپدید شدن گرانول‌های نشاسته در سطح فیلم مخلوط، می‌تواند ناشی از رطوبت بالاتر مخلوط نشاسته/PVA باشد که سبب ژلاتیناسیون کامل‌تر گرانول‌های نشاسته و تخریب بیشتر ساختار گرانولی آن و در نتیجه یکنواخت‌تر شدن ماتریکس فیلم حاصل شود [۲۹].

### ۳-۴- زیست تخریب پذیری

همچنین مطابق جدول ۱، نتایج آزمون آنزیمی نشان‌دهنده حساسیت و زیست تخریب‌پذیری بالای فیلم‌های دوجزئی در برابر آنزیم آلفا آمیلاز بود، به طوری که کلیه نمونه‌های فیلم طی اینکوباتورگذاری ۱۰۰٪ هضم شده، ساختار فیلمی خود را از دست داده و متلاشی شدند.

افزایش حلالیت پروتئین خواهد شد. از این واکنش در صنعت غذا به منظور محلول کردن پروتئین‌های نامحلول استفاده می‌شود [۲۵]. در پروتئین‌های گیاهی مانند زئین محتوی گلوتامین و اسید گلوتامیک بالاست که در محیط قلیایی، واکنش فوق رخ داده و سبب افزایش حلالیت زئین در محیط قلیایی می‌شوند. از این رو به دلیل افزایش حلالیت زئین در محیط قلیایی فیلم نشاسته/زئین در محلول سود به طور کامل حل شده است. همچنینکو و همکاراندر تحقیق خود گزارش نمودند که فیلم PVA در محیط قلیایی ناپایدارتر از محیط اسیدی می‌باشد. ایشان مشاهده کردند که در محلول HCl و  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  ساختار کریستالی PVA افزایش یافته و از میزان حلالیت فیلم کاسته می‌شود [۲۶].

### ۳-۳- ضریب انتقال بخار آب

وجود ترکیبات هیدروفیل در ساختار فیلم‌ها، میزان ضریب انتقال بخار آب را افزایش می‌دهد [۲۷]. از سوی دیگر هرچه ساختار فیلم‌ها یکنواخت‌تر باشد، امکان نفوذ ذرات آب از خلال شبکه فیلم کاهش یافته و نفوذپذیری به بخار آب کاهش می‌یابد. از آنجا که یک عملکرد مهم بسته بندی مواد غذایی، ممانعت یا به حداقل رساندن انتقال رطوبت بین اتمسفر محیط و ماده غذایی است، ارزش WVP پایین‌تر، یک ویژگی مطلوب برای فیلم بسته بندی می‌باشد [۲۸]. همان‌گونه که در جدول ۱

Table 1 Physical properties of composite films

Properties	Starch-Olibanum,	Starch-Zein	Starch-PVA	Starch
Thickness (mm)	0.22±0.01 <sup>a</sup>	0.25±0.01 <sup>a</sup>	0.16±0.02 <sup>a</sup>	0.10±0.00 <sup>a</sup>
Density (g/m <sup>3</sup> )	0.76±0.10 <sup>c</sup>	4.09±4.06 <sup>a</sup>	1.32±0.01 <sup>b</sup>	0.88±0.07 <sup>c</sup>
WVP (g mm/m <sup>2</sup> dkpa)	6.19±0.29 <sup>b</sup>	6.74±0.23 <sup>a</sup>	4.32±1.21 <sup>c</sup>	5.85±0.07 <sup>b</sup>
Biodegradability	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>

\* Values within the same row with the different superscript meant significant difference ( $P \geq 0.05$ ).

شکل ۲ فیلم‌های کامپوزیت نشاسته-کندر، نشاسته-زئین و نشاسته-PVA ساخته شده را در مقایسه با فیلم نشاسته معمولی نشان می‌دهد.

### ۳-۵- ویژگی‌های رنگی



Fig 2 Composite films of starch-Olibanum, starch-Zein, starch-PVA and control (starch), from right to left respectively.

فیلم نشاسته-PVA کمترین تفاوت کالری متریک را نسبت به نمونه شاهد (پلاستیک شفاف سلفوفان) نشان داده و کمترین  $\Delta E$  را داشته است، به عبارت دیگر شفاف تر از سایر نمونه‌ها بوده است. بیشترین تفاوت رنگ با نمونه شاهد در فیلم نشاسته-زئین مشاهده شد که ناشی از رنگ زرد زئین موجود در فرمولاسیون فیلم می‌باشد.

شفافیت یک شاخص موثر و کارآمد در تعیین اطلاعات مربوط به اندازه ذرات پراکنده شده در ماتریکس فیلم است، بطوریکه ذرات و گرانول‌های بزرگتر از طول موج مرئی، مسیر عبور نور را مسدود نموده و باعث افزایش کدورت فیلم می‌شوند [۳۰]. آنالیز واریانس نتایج بدست آمده از آزمون میزان شفافیت و عبور نور فیلم‌ها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر حاکی از آن است که تفاوت شفافیت انواع فیلم‌های مورد آزمون در سطح احتمال ۵ درصد خطا معنی دار است ( $p \leq 0.05$ ) بطوریکه در فیلم‌های نشاسته-کندر و نشاسته-زئین میزان جذب در طول موج مورد آزمون بیشترین میزان بوده است که نشان دهنده کدورت بیشتر این فیلم‌ها و ناهمگن تر بودن ماتریکس فیلم می‌باشد و فیلم نشاسته-PVA کمترین میزان جذب را داشته است.

در محاسبه ضریب سفیدی مشخص شد که نتایج بدست آمده از محاسبه WI، بسیار نزدیک به ارزشهای  $L^*$  تعیین شده بود، بنابراین هر یک از این شاخص‌ها می‌تواند ملاک قضاوت برای شاخص دیگر نیز قرار گیرد.

Table 2 Optical properties of composite films

Properties	starch-Olibanum,	starch-Zein	starch-PVA	starch
$L^*$	41.18±0.82 <sup>b</sup>	51.04±1.43 <sup>a</sup>	21.85±0.69 <sup>d</sup>	29.65±1.09 <sup>c</sup>
$a^*$	-0.24±0.75 <sup>b</sup>	-0.71±0.07 <sup>c</sup>	-0.09±0.05 <sup>a</sup>	-0.27±0.04 <sup>b</sup>
$b^*$	0.32±0.28 <sup>b</sup>	12.63±0.97 <sup>a</sup>	0.19±0.10 <sup>b</sup>	-0.65±0.07 <sup>c</sup>
$\Delta E$	35.13±0.82 <sup>b</sup>	47.25±1.47 <sup>a</sup>	15.86±0.68 <sup>d</sup>	23.56±1.08 <sup>c</sup>
C	0.82±0.14 <sup>b</sup>	12.65±0.97 <sup>a</sup>	0.21±0.10 <sup>c</sup>	0.70±0.07 <sup>bc</sup>
WI	41.17±0.82 <sup>b</sup>	49.43±1.33 <sup>a</sup>	21.84±0.68 <sup>d</sup>	29.64±1.09 <sup>c</sup>
Transparency	4.99±2.37 <sup>a</sup>	4.62±0.25 <sup>b</sup>	3.28±1.42 <sup>c</sup>	4.8±0.22 <sup>a</sup>

0.05). ≥ Values within the same row with the different superscript meant significant difference (P\*

فرمولاسیون نشاسته، سبب افزایش معنی‌دار مقاومت به کشش در فیلم‌های نشاسته شده است، در حالی که وجود کندر و زئین در ترکیب، از مقاومت فیلم‌های دو جزئی حاصل کاسته است. همچنین درصد ازدیاد طول نمونه‌های فیلم کامپوزیت نسبت به فیلم نشاسته خالص افزایش داشته است که این افزایش در خصوص فیلم ترکیبی نشاسته-PVA به طور معنی‌داری بالاتر از سایر نمونه‌ها بوده است.

رنگ از جمله مهمترین ویژگی‌های یک فیلم خوراکی است که نقش مهمی در ظاهر و بازار پسندی آن دارد. به طور کلی، هرچه یک فیلم بیوپلیمری شفاف‌تر بوده و به پلاستیک‌های حاصل از پلیمرهای سنتزی شبیه تر باشد، میزان پذیرش و کاربرد آن افزایش خواهد یافت، زیرا ویژگی‌های ظاهری محصول مورد بسته بندی در آن به طور کامل قابل مشاهده خواهد بود.

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود اضافه شدن کندر، زئین و PVA به نشاسته در ویژگی‌های ظاهری فیلم نشاسته تغییرات معنی‌داری ایجاد کرده است، به طوری که فیلم‌های نشاسته-زئین دارای ارزش  $L^*$  بیشتر و رنگ زردتر (ارزش  $b^*$  بالاتر) نسبت به سایر فیلم‌های کامپوزیت تولید شده بودند ( $p \leq 0.05$ ). کلبه فیلم‌های کامپوزیت مشابه فیلم نشاسته خالص، دارای ارزش  $a^*$  منفی و به عبارت دیگر ته رنگ سبز بودند ( $P > 0.05$ ).

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، فیلم تهیه شده از نشاسته-PVA کمترین ارزش‌های رنگی را به خود اختصاص داده و میزان روشنی، ته رنگ سبز و ته رنگ آبی آن کمتر از سایر نمونه‌ها بوده و یا به عبارت دیگر بیرنگ تر است.

کروما معیار تفاوت یک رنگ از رنگ خاکستری می‌باشد و بصورت معیار خلوص تعریف می‌شود. بیشترین میزان کروما یا اشباعیت رنگ نیز در فیلم نشاسته-زئین مشاهده شد.

### ۳-۶- ویژگی‌های مکانیکی

در تحقیقات مختلف فیلم نشاسته دارای خصوصیات مکانیکی ضعیفی معرفی شده است [۳۱، ۳۲]، لذا سایر ترکیبات برای بهبود این خواص باید به کار گرفته شوند.

جدول ۳ نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های ترکیبی نشاسته با کندر، زئین و PVA را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اضافه شدن PVA در

کردند که در حقیقت چسبندگی ضعیف و سازش ناپذیری دو ماده زئین و نشاسته به یکدیگر، درصد ازدیاد طول پلیمر را افزایش می‌دهد. این امر از مکانیسم تغییر شکل غیر یکنواخت زئین و نشاسته تحت نیروهای برشی ناشی می‌شود که شکاف-هاییدرطولماتریکسترکیبایجادمی‌کند. به عبارت دیگر، اصطکاک داخلی پلیمر نشاسته در نتیجه وجود زئین کاهش یافته و افزایش طول در پلیمر ایجاد می‌شود، اما از سوی دیگر به سبب شکاف‌های ایجاد شده، کاهش TS یا مقاومت کششی مشاهده خواهد شد [۳۴].

ماتو و همکاران (۲۰۰۲) در پژوهش خود بر روی تولید فیلم ترکیبی نشاسته-PVA به روش اکستروژن، گزارش کردند که افزودن PVA به نشاسته سبب بهبود معنی‌دار مقاومت به کشش و افزایش طول تا پارگی نمونه‌ها می‌شود [۲۹].

نتایج دست آمده در خصوص ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت‌های تولید شده با نتایج محققان دیگر مطابقت دارد. از جمله زنگ و همکاران بر اساس نتایج مطالعات موفولوژی خود بر روی فیلم‌های تولید شده به روش قالب‌گیری حرارتی از نشاسته ذرت وزئین گزارش کردند که در نتیجه مترکم شدن زئین در ساختار فیلم، شبکه ماکرو مولکولار شکل گرفته که سبب به هم چسبیدن گرانول‌های نشاسته می‌شود. در نتیجه این به هم چسبیدگی، خواص مکانیکی فیلم نظیر مقاومت به کشش تحت تاثیر قرار گرفته و کاهش می‌یابد. این محققان نتیجه گرفتند که اندازه ذرات زئین بر ساختار و خواص ترمودینامیکی ترکیب نشاسته-زئین موثر است، به طوری که با کوچکتر شدن اندازه ذرات زئین، ساختار فیلم یکنواخت‌تر و خواص مکانیکی آن بهتر خواهد بود [۳۳].

هیبچ و همکاران در پژوهش خود بر روی تولید ترکیب نشاسته-زئین با استفاده از اعمال نیروهای برشی، گزارش

**Table 3** Mechanical properties of composite films

Properties	starch-Olibanum,	starch-Zein	starch-PVA	starch
TS (MPa)	0.62±0.19 <sup>c</sup>	1.08±0.03 <sup>c</sup>	10.02±0.31 <sup>a</sup>	8.51±1.35 <sup>b</sup>
(%E)	18.09±5.07 <sup>b</sup>	17.30±1.61 <sup>b</sup>	104.22±55.3 <sup>a</sup>	5.30±0.93 <sup>b</sup>

\* Values within the same row with the different superscript meant significant difference ( $P \geq 0.05$ ).

#### ۴- نتیجه گیری کلی

در مجموع، بررسی نتایج فیلم‌های کامپوزیت ساخته شده از نشاسته به همراه دیگر ترکیبات نشان داد که افزودن شدن PVA به نشاسته ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های حاصل را به-طور چشمگیری بهبود می‌بخشد. همچنین افزودن زئین بیش از سایر ترکیبات، در کاهش میزان حلالیت در آب نشاسته موثر می‌باشد. در همین حال، اضافه شدن این دو ماده به ترکیب نشاسته، حساسیت آنزیمی فیلم‌های حاصل را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. از این رو برای غلبه بر دو محدودیت مهم نشاسته شامل خواص مکانیکی ضعیف و نیز حلالیت بالا در آب، زئین و PVA برای ترکیب با آن به منظور تولید کامپوزیت مناسب می‌باشند. همچنین برای مخلوط کردن این مواد و تولید فیلم، روش اکستروژن قابل استفاده است که روش متداول برای تولید فیلم‌های صنعتی می‌باشد، لذا ترکیب‌های کامپوزیت بررسی شده قابلیت تولید تجاری را خواهند داشت.

#### ۵- سپاسگزاری

این طرح با حمایت مالی جهاد دانشگاهی انجام شد. تیم پروژه مراتب سپاس و قدردانی خود را از حسن نظر و حمایت مسئولین محترم امر اعلام می‌نماید.

#### ۶- منابع

- [1] Romero-Bastida, C.A., Bello-Perez, L.A., Garcia, M.A., Martino, M.N., Solorza-Feria, J. & Zaritzky, N.E. 2005. Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. *Carbohydrate Polymers*, 60: 235–244.
- [2] Fu, Z.Q., Wang, L.J., Li, D. & Wei, Q., Adhikari, B. 2011. Effects of high-pressure homogenization on the properties of starch-plasticizer dispersions and their films. *Carbohydrate Polymers*, 86: 202–207.
- [3] Dias, A.B., Muller, C.M.O., Larotonda, F.D.S. & Laurindo, J.B. 2010. Biodegradable



- content on properties of oxidized and acetylated corn starch-based films. *Carbohydrate Polymers*, 87(1):707-712.
- [14] Zardetto, S. & Rosa, M.D. 2006. Study of the effect of lamination process on pasta by physical chemical determination and near infrared spectroscopy analysis. *Journal of Food Engineering*, 74:402-409.
- [15] Bolin, H.R. & Huxsoll, C.C. 1991. Control of Minimally Processed Carrot (*Daucus carota*) Surface Discoloration Caused by Abrasion Peeling. *Journal of food science*, 56(2): 416-422.
- [16] ASTM. 2001. Standard methods of test for water vapor transmission of materials in sheet form, method ASTM E 96-00. In Annual book of ASTM standards. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Material.
- [17] Guohua, Z., Ya, L., Cuilan, F., Min, Z., Caiqiong, Z. & Zongdao, C. 2006. Water resistance, mechanical properties and biodegradability of methylated-cornstarch/poly(vinyl alcohol) blend film. *Polymer Degradation and Stability*, 91: 703-711.
- [18] Shukla, R. & Cheryan, M. 2001. Zein: the industrial protein from corn. *Industrial Crops and Products*, 13(3):171-192.
- [19] Bertuzzi, M.A. Castro Vidaurre, E.F. Armada, M. & Gottifredi, J.C. 2007. Water vapor permeability of edible starch based films. *Journal of Food Engineering*, 80: 972-978.
- [20] Lawton, J.W. 2004. Plasticizers for zein: their effect on tensile properties and water absorption of zein films. *Cereal Chemistry*, 81(1):1-5.
- [21] Wang, Q. & Padua, G.W. 2005. Properties of zein films coated with drying oils, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 3444-3448.
- [22] Tihminlioglu, F., Doganatik, I., Ozen, B. 2010. Water vapor and oxygen-barrier performance of corn-zein coated polypropylene films. *Journal of Food Engineering*, 96:342-347.
- [23] Gu, L., Wang, M. & Zhou, J. 2013. Effects of protein interactions on properties and microstructure of zein-gliadin composite films. *Journal of Food Engineering*, 119: 288-298.
- [24] Parris, N., Dickey, L.C., Kurantz, M. J., Moten, R.O. & Craig, J.C. 1997. Water vapor permeability and solubility of zein/starch films based on rice starch and rice flour. *Journal of Cereal Science*, 51: 213-219.
- [4] Talja, R.A., Helen, H., Roos, Y.H. & Jouppila K. 2008. Effect of type and content of binary polyol mixtures on physical and mechanical properties of starch-based edible films. *Carbohydrate Polymers*, 71:269-276.
- [5] Mali, S., Grossmann, M.V.E, Garcia, M.A, Martino, M.N & Zaritzky, N.E. 2005. Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Carbohydrate Polymers*, 157-164.
- [6] Shogren, R.L., Fanta, G.F. & Doane, W.M, 1993. Development of starch based plastics – A reexamination of selected polymer systems in historical perspective. *Starch/Starke*, 45: 276-280.
- [7] Ghanbarzadeh, B., Almasi, H. & Entezami, A. 2010. Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11: 697-702.
- [8] Arguello-Garcia, E., Solorza-Feria, J., Rendon-Villalobos, R., Rodriguez-Gonzalez, F., Jimenez-Perez, A. & Flores-Huicochea, E. 2014. Properties of Edible Films Based on Oxidized Starch and Zein. *International Journal of Polymer Science*, 1-9.
- [9] Mendes, J.F., Paschoalin, R.T., Carmona-Alfredo, V.B., Sena Neto, R., Marques, A.C.P., Marconcini, J.M., Mattoso, L.H.C., Medeiros, E.S. & Oliveira, J.E. 2016. Biodegradable polymer blends based on corn starch and thermoplastic chitosan processed by extrusion. *Carbohydrate Polymers*, 137(10):452-458.
- [10] Muller, C.M.O., Yamashita, F. & Laurindo, J.B. 2008. Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. *Carbohydrate Polymers*, 72: 82-87.
- [11] Hu, G., Chen, J. & Gao, J. 2009. Preparation and characteristics of oxidized potato starch films. *Carbohydrate Polymers*, 76: 291-298.
- [12] Han, J. H. & Floros, J. D. 1997. Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. *Journal of Plastic Film and Sheet*, 13: 287-298.
- [13] Yan, Q., Hou, H., Guo, P. & Dong, H. 2012. Effects of extrusion and glycerol

- Glycerol-polyvinyl alcohols blends: mechanical properties, morphology and biodegradability. *Journal of Polymers and the Environment*, 8(4):205-211.
- [30] Piyaporn, K., Duangdao, A., Duanghathai, P. & Kawee, S. 2007. Preparation of cassava starch/montmorillonite composite film. *Carbohydrate Polymers*, 67: 155-163.
- [31] Avvrous, L. & Boquillon, N. 2004. Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours. *Carbohydrate Polymers*, 56 (2):111-122.
- [32] Follain, N., Joly, C., Dole, P. & Bliard, C. 2005. Mechanical properties of starch-based materials. I. Short review and complementary experimental analysis. *Journal of Applied Polymer Science*, 97 (5):1783.
- [33] Zeng, M., Huang, Y., Lua, L., Fana, L. & Lourdin, D. 2011. Effects of filler-matrix morphology on mechanical properties of corn starch-zein thermo-moulded films. *Carbohydrate Polymers*, 84: 323-328.
- [34] Habeych, E., Dekkers B., Goot, A.J.V. & Boom R. 2008. Starch-zein blends formed by shear flow. *Chemical Engineering Science*, 63: 5229 - 5238.
- hydrophilic films prepared from dry milled corn extract. *Journal of Food Engineering*, 32:199-207.
- [25] Whitaker, J.R., Feeney, R.E. & Sternberg, M.M. 1983. Chemical and physical modification of proteins by the hydroxide ion. *Food Science and Nutrition*, 19(3): 173-212.
- [26] Koo, O.M.Y., Fiske, J.D., Yang, H., Nikfar, F., Thakur, A., Scheer, B. & Adams, M.L. 2011. Investigation into Stability of Poly(Vinyl Alcohol)-Based. *AAPS PharmSciTech*, 12(2):746-754.
- [27] Zuo, M., Song, Y. & Zheng, Q. 2009. Preparation and properties of wheat gluten/methylcellulose binary blend film casting from aqueous ammonia: a comparison with compression molded composites. *Journal of Food Engineering*, 91:415-422.
- [28] Mali, S., Karam, L.B., Ramos, L.P. & Grossmann, M.V.E. 2004. Relationships among the composition and physicochemical properties of starches with the characteristics of their films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 7720-7725.
- [29] Mao, L., Imam, S., Gordon S., Cinelli, P. & Chiellini, E. 2002. Extruded corn starch-

## Comparison of biodegradable composite film properties based on starch containing Olibanum, Zein and PVA with the aim of food products packaging

Hosseini, F. <sup>1\*</sup>, Bagherhabibi Najafi, M. <sup>2</sup>, Oromiehie, A. <sup>3</sup>, Yavarmanesh, M. <sup>4</sup>, NassiriMahallati, M. <sup>5</sup>

1. Assistant Professor, Food Additives Department, Food Science and Technology Research Institute, ACECR, KhorasanRazavi, Iran
2. Professor, Food Science and Technology Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. Associate Professor, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, Iran.
4. Assistant Professor, Food Science and Technology Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
5. Professor, Agronomy Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received: 2017/01/28 Accepted: 2017/08/07)

One of the most effective methods to reduce environmental pollutions caused by the accumulation of plastic materials is production and application of biodegradable films for food packaging. In this research, biodegradable composite films based on starch including starch-Olibanum, starch-Zein and starch-PVA were produced and all their physical, mechanical and color properties compared to starch film as control. According to the results, incorporating Olibanum, Zein and PVA into starch reduced solubility of the films in water, so that the solubility of starch-Olibanum, starch-Zein and starch-PVA composite were determined as 35.8%, 32.8% and 47.5%, respectively in compare with 78.2% for starch film. Addition PVA to starch films caused significant increase in tensile strength (TS) of composite film. The elongation (% E) of composites film was significantly increased in compare to starch film, and starch-PVA samples showed higher elongation than others. The lowest  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  and  $\Delta E$  were seen in starch-PVA film, so it was the most transparent films among all composite. These results suggest that to overcome two major limitations of starch films include poor mechanical properties and high water solubility, Zein and PVA are suitable options to blend with starch and produce composite films.

**Keywords:** Zein, Extrusion, Biodegradable, Polyvinyl Alcohol, WVP

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: fereshtehosseini@yahoo.com