بررسی اثر نوع و غلظت نرم‌کننده بر ویژگی‌های فیلم زیست تخریب پذیر جدید بر پایه پودر نرم گندم

مریم پیروموسوی[۱]، محبوبه کشیری[۲*]، یحیی مقصودلو[۳]، مرتضی خمیری[۴]، مهران اعلمی[۵]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه فناوری مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- گروه فناوری مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- دانشیار گروه میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
٤- دانشیار گروه فناوری مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۵- استادیار گروه فناوری مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹٦/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹٦/۰۹/۱۱)

چکیده

پودر نرم گندم پلی‌مری طبیعی حاصل از فرایند آسیابانی گندم می‌باشد که جداسازی آن به سبب کاهش کیفیت آرد تولیدی ضرورتی اجتناب ناپذیر است. با توجه به اهمیت کاربرد ضایعات، هدف از این تحقیق استفاده از پودر نرم گندم به‌عنوان ماده اولیه جدید و ارزان قیمت در تولید فیلم زیست تخریب پذیر و بررسی اثر نوع نرم‌کننده (گلیسرول و سوربیتول) در غلظت‌های مختلف (۲۵، ۳۵ و ٤۵ درصد) بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های تولیدی بود. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت نرم‌کننده، ضخامت، رطوبت، حلالیت در آب و کشش فیلم افزایش، در حالی‌که مقاومت کششی فیلم کاهش یافت. با توجه به بروز ویژگی الاستیکی شدید فیلم تولیدی حاوی سوربیتول در غلظت‌های پایین، ارزیابی کشش‌پذیری و نفوذپذیری در برابر بخار آب امکان‌پذیر نبود. افزایش غلظت نرم‌کننده گلیسرول در مقایسه با سوربیتول، تاثیر بیشتری بر افزایش رطوبت و حلالیت در آب داشت. نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌های زیستی حاوی ۳۵ درصد سوربیتول ($۰/۵۱\times۱۰^{-۱۰}$ $gm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$) در مقایسه با فیلم‌های حاوی گلیسرول در غلظت‌های مشابه ($۱/٤۹\times۱۰^{-۱۰}$ $gm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$) کم‌تر بود. با افزایش غلظت گلیسرول کشش‌پذیری فیلم‌های تولیدی از ۳۱ درصد به ٤۰ درصد افزایش پیدا کرد، درحالی‌که حداکثر کشش‌پذیری فیلم تولیدی حاوی سوربیتول برابر ۰/۱٦ درصد بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق می‌توان بیان داشت که پودر نرم گندم از پتانسیل بسیار خوبی برای تولید فیلم زیستی جهت بسته‌بندی مواد غذایی برخوردار بود و گلیسرول به‌عنوان نرم‌کننده مناسب‌تری در مقایسه با سوربیتول معرفی می‌گردد.

کلید واژگان: پودر نرم گندم، فیلم زیست تخریب پذیر، گلیسرول، سوربیتول.

*مسئول مکاتبات: Kashiri.m@gmail.com

۱- مقدمه

طی دهه‌های اخیر در صنعت بسته‌بندی تلاش زیادی جهت یافتن روش‌های جدید برای محافظت مواد غذایی از شرایط محیطی مانند اکسیژن، نور، رطوبت، میکروب و تنش‌های مکانیکی انجام شده است [۱]. مواد بسته‌بندی مورد استفاده در صنعت غذا به‌طور عمده از پلی‌مرهای سنتزی حاصل از مواد نفتی می‌باشند. از آن‌جایی که این مواد در طبیعت قابل تجزیه نیستند، مشکلات زیست محیطی زیادی ایجاد کرده‌اند. افزایش تمایل به مصرف پلی‌مرهای زیستی و از طرفی افزایش ضایعات تخریب ناپذیر و مشکلات بازیابی بسته‌بندی‌های سنتزی رایج، محققان را به سمت گسترش پلی‌مرهای زیست تخریب پذیر جدید سوق داده است [۲و۳]. طبق تحقیقات به عمل آمده میزان تولید پلاستیک‌های زیستی در سال ۲۰۱٦ میلادی ٤/۲ میلیون تن گزارش شده است. پتانسیل تولید جهانی این پلاستیک‌ها براساس گزارش چشم انداز توسعه زیست پلاستیک‌ها در سال ۲۰۲۱ بیش از ٦/۱ میلیون تن پیش‌بینی شده است[٤]. مطالعات گوناگونی استفاده از پلی‌مرهایی نظیر پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها را جهت تولید فیلم‌های زیست تخریب پذیر امیدبخش گزارش نمودند. در این بین می‌توان به پروتئین‌های با وزن مولکولی بالا مانند ژلاتین [٥]، میوفیبریل [٦]، گلوتن [۷] و پلی‌ساکاریدهایی نظیر کربوکسی متیل سلولز [۸]، آلژینات [۹] و پکتین [۱۰] اشاره نمود. نشاسته یکی دیگر از پلی-مرهای زیستی است که می‌توان از منابع مختلف مانند سیب زمینی [۱۱]، ذرت [۱۲]، برنج [۱۳] و کاساوا [۱٤] استخراج و در تولید فیلم‌های زیستی استفاده کرد. از مهم‌ترین مزایای پلی‌مر نشاسته می‌توان به فراوانی، قیمت ارزان و سرعت تجزیه‌پذیری بالا به سبب ماهیت آب‌دوست آن اشاره کرد [۱٥و۱٦]. بر اساس تحقیق‌های انجام شده ساختار فیلم بر پایه نشاسته طی خشک-شدن محلول ژلاتینه‌شده با تشکیل پیوندهای هیدروژنی ضعیف بین گروه‌های هیدروکسیلی شکل می‌گیرد، به این دلیل فیلم‌های تولیدی بر پایه نشاسته از ویژگی مکانیکی ضعیفی برخوردار می-باشند [۱۷]. این در حالی است که بر اساس گزارش محققان یکی از ویژگی‌های شاخص فیلم‌های پروتئینی، خواص مکانیکی مطلوب آن می‌باشد [۱۸]. بر این اساس با توجه به مشکلات ناشی از ماهیت آب‌دوستی نشاسته، در بسیاری از موارد می‌توان با ترکیب کردن نشاسته با سایر پلی‌مرها، با ماهیت متفاوت نظیر نشاسته – پروتئین [۱۹،۲۰،۲۱] و هم‌چنین نشاسته - لیپید [۲۲،۲۳] به‌ترتیب خواص عملکردی و ممانعت کنندگی در برابر بخار آب فیلم تولیدی جدید را بهبود داد. همان‌طوری که اشاره شد در تولید این دسته از فیلم‌های زیستی پلی‌مرهای خالص مورد استفاده قرار گرفتند، اما در همین راستا بر اساس گزارش برخی از محققان استفاده از آرد حاصل از محصولات کشاورزی که مخلوطی از نشاسته، پروتئین و لیپید است می‌تواند از جذابیت ویژه‌ای برخوردار باشد. ویژگی فیلم‌های بر پایه آرد نتیجه واکنش‌های طبیعی است که بین نشاسته و پروتئین ولیپید طی تشکیل و خشک شدن محلول رخ می‌دهد و به نظر می‌رسد این فرایند یک فرصت جدید برای توسعه مواد نو در زمینه فیلم‌های زیست تخریب پذیر باشد [۲٤]. از مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در این حوزه می‌توان به آرد تاج‌خروس[1] [۲٥،۲٦]، آرد برنج [۱۳]، آرد ذرت [۲۷] و آرد تریتیکاله [۲۸] اشاره کرد.پودر نرم گندم ، ماده‌ای است سفید رنگ حاوی پروتئین، کربوهیدرات، مواد معدنی، جوانه و فیبر که طی فرایند آسیابانی گندم به دست می‌آید. با توجه به اهمیت اندازه ذرات آرد در کیفیت محصولات نانوایی، در سیستم آسیابانی گندم اندازه ذرات آرد با استفاده از الک‌های تحت سیستم پنوماتیکی طبقه‌بندی می‌شوند. در این فرایند ذرات بسیار سبک تحت عنوان "پودر نرم گندم" به‌دست می‌آید که علی‌رغم حضور ترکیبات مغذی مجاز به مصرف در صنایع نانوایی نمی‌باشد.بر اساس گزارش محققان فیلم‌های تولیدی بر پایه پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها سخت و شکننده هستند، با توجه به این امر ترکیباتی کوچک با وزن مولکولی کم به عنوان نرم‌کننده جهت کاهش شکنندگی و افزایش انعطاف-پذیری فیلم مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۹]. نقش اصلی نرم‌کننده جذب مولکول آب و کاهش نیروی بین مولکولی بین زنجیره‌های پلی‌مر و افزایش انعطاف‌پذیری فیلم است. [۳۰]. از مهم‌ترین نرم‌کننده‌های مورد استفاده در فیلم‌های زیستی می‌توان به پلی‌ال-هایی مانند گلیسرول و سوربیتول اشاره کرد [۳۱]. گلیسرول و سوربیتول از دسته نرم‌کننده‌های قطبی، غیرفرار و با نقطه جوش بالا هستند که تشابه ساختاری آن با پلی‌مرهایی با ماهیت

1. Amaranta flour

آب‌دوست می‌تواند مفهوم سازگاری نرم‌کننده با پلی‌مر را تحقق بخشد و به آسانی در سیستم مورد بررسی جذب گردند و ویژگی‌های فیلم تولیدی را بهبود بخشند [۳۲،۳۳]. بروز خواص نرم‌کنندگی یک ترکیب، تحت تاثیر وزن مولکولی، ساختار، تعداد گروه‌های هیدروکسیل، فاصله اتم‌های اکسیژن و توانایی آن برای پیوند با آب قراردارد [۳٤،۳۵]. در همین راستا بر اساس گزارش تحقیقات پیشین ماهیت آب‌دوستی نرم‌کننده به‌طور واضح می‌تواند خصوصیات ممانعت کنندگی در برابر رطوبت را تحت تاثیر قرار دهد [۳۷،۳٦]. علاوه بر عوامل اشاره شده، نسبت نرم-کننده به پلی‌مر، یکی دیگر از عوامل کلیدی در تعیین ویژگی‌های کاربردی فیلم زیستی تولیدی قلمداد می‌شود [۳۸]. به‌طوری‌که با افزایش مقدار نرم‌کننده، ویژگی‌های فیلم تولیدی نظیر انعطاف‌پذیری افزایش و مقاومت به کشش کاهش می‌یابد [۳۹].هدف از این تحقیق بررسی امکان استفاده از پودر نرم گندم به‌عنوان یک ماده مناسب برای بسته‌بندی مواد غذایی و بهبود خصوصیات مکانیکی و مقاومت به رطوبت فیلم با استفاده از دو نرم‌کننده گلیسرول و سوربیتول در غلظت‌های متفاوت بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه مواد اولیه

پودر نرم گندم (کارخانه آرد زاهدی گرگان)، گلیسرول (مرک، آلمان)، سوربیتول (تیتراکم، ایران) ، کلرید سدیم (مرک، آلمان) و هیدروکسید سدیم (تیتراکم، ایران) در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند.

۲-۲- تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پودر نرم گندم

ویژگی اولیه پودر نرم گندم نظیر مقدار رطوبت، درصد پروتئین، خاکستر، درصد چربی و اندیس گلوتن مطابق با استاندارد AACC(۲۰۰۰) به ترتیب شماره‌های ۱٦-٤٤، ۱۰-٤٦، ۰۱-۰۸، ۱۰-۳۰، ۱۰-۳۸ و pH و درصد نشاسته مطابق با AOAC (۲۰۰۵) به شماره ۲۳-۹٤۰ و ۳۷-۹٤۵ تعیین شدند [٤۱،٤۰].

۲-۳-تولید فیلم زیستی بر پایه پودر نرم گندم

فیلم‌های تولیدی در این تحقیق با استفاده از تکنیک قالب‌گیری بر اساس روش Borneo و همکاران (۲۰۱٦) با کمی اصلاحات تهیه شد [۲۸]. در این روش محلول آبی حاوی ٦ درصد (وزنی-وزنی) پودر نرم گندم آماده و به‌منظور انحلال پروتئین‌ها pH محلول حدود ۱۰/۷ تنظیم شد. محلول حاصل از این مرحله به‌مدت ۳۰ دقیقه به‌منظور ژلاتینه‌شدن نشاسته در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد در بن‌ماری شیکردار قرار گرفت. در ادامه فرآیند پس از کاهش دمای بن‌ماری به دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد نرم‌کننده (گلیسرول یا سوربیتول) در غلظت‌های مختلف (۲۵ و ۳۵ و ٤۵ درصد نسبت به وزن پلی‌مر) به محلول اضافه گردید و به‌مدت ۱۵ دقیقه روی بن‌ماری شیکردار قرار داده شد. پس از همگن شدن نرم‌کننده در محلول فیلم، ۲۰ میلی‌لیتر از محلول نهایی داخل پلیت‌هایی به قطر۱۰ ×۱۰ سانتی‌متر ریخته شد و در آون با دمای ٤۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲٤ ساعت خشک گردید.

۲-٤- ارزیابی ویژگی‌های فیلم‌های زیستی تولیدی

۲-٤-۱- ضخامت فیلم‌های زیستی تولیدی

ضخامت فیلم‌های تولید شده با استفاده از میکرومتر دیجیتال (Mitutoyo, Japan) با حساسیت ۰/۰۰۱ میلی‌متر در ۱۰ نقطه برای هر فیلم اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان ضخامت فیلم گزارش شد.

۲-٤-۲- رطوبت فیلم‌های زیستی تولیدی

قطعات فیلم به ابعاد ۳×۲ سانتی‌متر مربع بریده و درون پلیت‌هایی که از قبل به وزن ثابت رسیده، توزین گردید و در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت حرارت داده شدند. میزان کاهش وزن نمونه نسبت به وزن نمونه اولیه به عنوان مقدار رطوبت فیلم گزارش گردید [٤۲].

۲-٤-۳- نفوذپذیری نسبت به بخار آب[1]

نفوذپذیری نسبت به بخار آب بر اساس تغییرات وزنی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر اساس روش مصوب ASTM[2] به شماره ۹۵-۹٦ E انجام شد. در این روش از فنجانک‌هایی به قطر داخلی ۳/۵ سانتی‌متر، قطر خارجی ٤/۵ سانتی‌متر و عمق ۳/۵

1. Water Vapor Permeability (WVP)
2. American Standard. American Society (ASTM)

سانتی‌متر استفاده شد. به‌منظور تعیین رطوبت نسبی صفر درصد به مقدار ۷ میلی‌گرم سیلیکاژل نرم در هر یک از فنجان‌ها وزن گردید. دهانه خارجی فنجانک با روغن سیلیکون پوشانده و فیلم به اندازه قطر خارجی فنجانک‌ها برش داده شد و با استفاده از حلقه لاستیکی به‌طور کامل درزگیری و فیلم و حلقه پلاستیک با سه کلیپس فلزی به درب فنجانک‌ها متصل گردید. در ادامه هر یک از فنجانک‌ها در دسیکاتوری شامل کلرید سدیم اشباع (رطوبت نسبی ۷۰ درصد) قرار داده شدند. فنجانک‌ها در زمان-های مشخص توزین شدند. نمودار تغییرات وزن به صورت تابعی از زمان رسم گردید. نرخ انتقال بخار آب[1] از تقسیم شیب خط بر سطح فیلم‌های مورد آزمون بر اساس معادله ۱ محاسبه شد.

$$WVTR = \frac{\text{شیب خط بر حسب معادله (٤)}}{\text{سطح فیلم}} \qquad \text{معادله (۱)}$$

پس از محاسبه نرخ انتقال بخار آب، نفوذپذیری در برابر بخار آب با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

$$WVP = \frac{WVTR}{\text{اختلاف فشار}} \times \text{ضخامت فیلم} \qquad \text{معادله (۲)}$$

۲-٤-٤- حلالیت در آب فیلم‌های زیستی تولیدی

قطعات فیلم به ابعاد ۳×۲ سانتی‌متر مربع بریده شد و داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲٤ ساعت قرار گرفت. بعد از آون گذاری فیلم‌ها توزین شدند (W_1) و درون ۵۰ سی‌سی آب مقطر انداخته شد و به‌مدت ۲٤ ساعت عمل هم‌زدن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. سپس مخلوط فیلم و آب روی یک کاغذ صافی که قبلا به وزن ثابت رسیده و دقیقا توزین شده صاف شد. کاغذ صافی به‌همراه نمونه تا رسیدن به وزن ثابت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت (W_2). حلالیت فیلم‌ها از رابطه ذیل محاسبه شد [٤٤].

$$WS\,(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \qquad \text{معادله (۳)}$$

۲-٤-۵- خواص مکانیکی فیلم

خواص مکانیکی با استفاده از بافت سنج (Stable Micro AT-XT-Plus Systems, Surrey UK) و نرم افزار مربوطه (Texture Expert 1.05) با نیرویی معادل ۵۰ نیوتن اندازه-گیری شد. نوارهای فیلم به ابعاد عرض ۲۵ میلیمتر و طول ۱۰۰ میلی‌متر بر اساس روش(ASTM D- ۸۸۲) (ASTM, ۲۰۰۱) برش داده شدند. فاصله بین دو فک ۵ سانتی‌متر و سرعت بارگذاری ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم گردید. خواص مکانیکی فیلم‌ها شامل مقاومت کششی (TS) با تقسیم حداکثر نیرو (F_{max}) به سطح اولیه (A) بر حسب مگاپاسکال و افزایش طول تا نقطه شکست (EAB %) با نسبت افزایش طول فیلم (ΔL)در نقطه پاره شدن به طول اولیه (L_0) بر حسب درصد محاسبه گردیدند.

$$TS = \frac{F_{max}}{A}$$

$$EAB = \frac{\Delta L}{L} \times 100 \qquad \text{معادله (۵)}$$

۲-٤-٦- ارزیابی رنگ سنجی فیلم‌ها تولیدی

ارزیابی رنگ فیلم‌ها با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج CAM-, (Lovibond system England 500) و تعیین سه فاکتور b* و a*، L* انجام شد. صفحه استاندارد رنگ سفید به-عنوان پس‌زمینه با مشخصات L*=۹۷/۱ ، a*=۰/۱۳ ، b*=۱/۸۸ برای اندازه‌گیری رنگ مورد استفاده قرار گرفت. اندیس L* توصیف کننده روشنی (صفر=سیاه و ۱۰۰=سفید) در نظر گرفته شد. در تعریف رنگ نمونه‌ها اندیس a* بیانگر قرمزی (مثبت) و سبزی (منفی) و اندیس b* نشان‌دهنده زردی (مثبت) و آبی (منفی) بود. اختلاف رنگی کل (ΔE) و اندیس سفیدی (WI) مطابق معادله (٦و۷) محاسبه گردید (جوکی و همکاران، ۲۰۱۳).

معادله (٦)

$$\Delta E=[(\Delta L)^2+(\Delta a)^2+(\Delta b)^2]^{1/2}$$

معادله (۷)

$$WI=100-[(100-L)^2+a^2+b^2]^{1/2}$$

۲-٤-۷- بررسی ریز ساختارهای فیلم‌های تولیدی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

1. Water Vapor Transmission Rate (WVTR)

به‌منظور بررسی تاثیر افزودن نرم‌کننده و تعیین توزیع و سازگاری این مواد در ترکیب با فیلم پودر نرم گندم از میکروسکوپ الکترونی استفاده شد. نمونه‌های فیلم در دسیکاتور حاوی سیلیکاژل به‌طور کامل خشک شدند و در ادامه برای تصویربرداری از سطح و مقطع عرضی، ابتدا نمونه‌ها در ازت مایع شکسته و سپس از سمت مقابل شکسته شده به کمک چسب نقره روی پایه فلزی چسبانده شدند. پایه‌ها در یک دستگاه پوشش دهنده/ پاشنده تا نقطه بحرانی خشک و به‌مدت ۵ دقیقه با ذرات طلا پوشش داده شدند و تصویربرداری از نمونه‌ها به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی در بزرگنمایی‌های مختلف انجام شد.

۲-٤- آنالیز آماری

در این تحقیق آزمایشات در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. اثر عوامل مورد بررسی با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) ارزیابی گردید و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح آماری ۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودار با اکسل انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی ویژگی‌های پودر نرم گندم

تصویر پودر نرم گندم در شکل ۱ و ترکیبات آن در جدول ۱ نشان داده شده است. مقدار رطوبت پودر نرم گندم حدود ۱۱/۲۳ درصد تعیین گردید. از مهمترین ترکیبات پودر نرم گندم می‌توان به نشاسته (٦٢/٧ درصد)، پروتئین (١٤/٠٣ درصد)، چربی (۵/۳ درصد) و خاکستر (۰/۹٤ درصد) اشاره کرد.

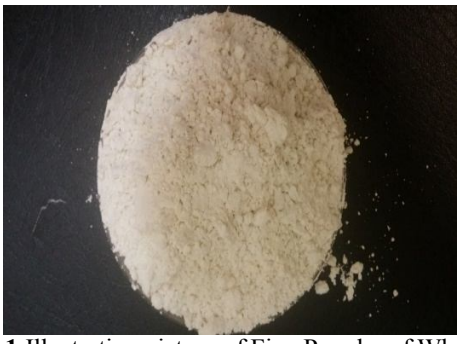


Fig 1 Illustrative picture of Fine Powder of Wheat

Table 1 Fine powder content

	Moisture	Starch	oil	Protein	pH	Ash	Gloten
(%)	11.23±0.15	62.7±0.24	5.3±0.18	14.03±0.21	6.39±0.02	0.94±0.11	43.6±1.23

۳-۲- تاثیر نوع و غلظت نرم‌کننده بر ضخامت فیلم‌های تولیدی

فیلم زیستی پودر نرم گندم در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، ظاهر فیلم شفاف و متمایل به زرد بود.

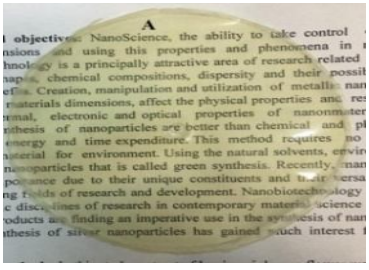


Fig 2 Illustrative picture of Fine Powder film(containing 35% (w/w) glycerol)

بر اساس نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نوع نرم‌کننده بر ضخامت فیلم‌ها اثر مشهودی داشت به‌طوری‌که فیلم‌های حاوی گلیسرول ضخامت بیشتری در مقایسه با فیلم‌های حاوی سوربیتول در غلظت یکسان داشتند (جدول ۲). با افزایش مقدار نرم‌کننده، ضخامت فیلم‌های مورد بررسی افزایش نشان دادند که از این حیث با نتایج Müller و همکاران (۲۰۰۸) و Jouki و همکاران (۲۰۱۵) در ارتباط با افزایش ضخامت فیلم با افزایش مقدار نرم‌کننده در فیلم‌های نشاسته کاساوا و دانه به مطابقت داشت [٤٧،٤٦]. در همین راستا Mali (۲۰۰۵) علت افزایش ضخامت فیلم‌ها در حضور نرم‌کننده را به ورود نرم‌کننده به داخل پلی‌مر و تخریب پیوندهای بین مولکولی پلی‌مر و جایگزینی پیوند نرم‌کننده و پلی‌مر به جای آن و بازسازی دوباره ساختار پلی‌مر

نسبت داد که این پدیده منجر به ایجاد ساختاری وسیع‌تر همراه با افزایش حجم و در نتیجه افزایش ضخامت فیلم تولیدی گردید [۳۲،٤٨].

Table 2 Effect of plasticizer level and type on films' Thickness and WVP

Plasticizer type	Content % (w/w) based on FP content	Thickness (mm)	WVP($\times 10^{-10} gm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$)
Glyserol	25	0.135 ± 0.007^{c}	1.14 ± 0.14^{c}
	35	0.159 ± 0.001^{b}	1.49 ± 0.16^{b}
	45	0.18 ± 0.006^{a}	1.98 ± 0.13^{a}
Sorbitol	25	0.118 ± 0.007^{d}	-
	35	0.138 ± 0.004^{c}	0.51 ± 0.03^{d}
	45	0.157 ± 0.006^{b}	0.53 ± 0.01^{d}

* Values in vertical columns with different letters are significantly different ($P<0.05$).

۳-۳- تاثیر نوع و غلظت نرم‌کننده بر رطوبت نهایی فیلم‌های تولیدی

تاثیر نوع و مقدار نرم‌کننده بر مقدار رطوبت فیلم‌های تولیدی در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده بیشترین درصد رطوبت در فیلم زیستی حاوی ٤٥ درصد گلیسرول (۲۱/٦٤ درصد) و کمترین آن در فیلم زیستی حاوی ۲۵ درصد سوربیتول (٦/١٦ درصد) مشاهده شد که از این حیث با نتایج Antoniou و همکاران (۲۰۱٤) مبنی بر افزایش مقدار رطوبت فیلم صمغ تارا حاوی گلیسرول در مقایسه با سوربیتول مطابقت داشت [۲۹]. در همین راستا Zhang, Y., & Han (۲۰۰٦) توانایی گلیسرول در جذب آب نسبت به برهم‌کنش آن با اجزای تشکیل دهنده پلی‌مر در مقایسه با سوبیتول و برخی از پلی‌الها را موثرتر گزارش کردند [٤٩]. به عبارتی دیگر با توجه به تشابه ساختاری سوربیتول با گلوکز و احتمال واکنش بیشتر سوربیتول با زنجیره‌های پلی‌مر نشاسته، ساختار فیلم از نیروی بین مولکولی بالاتر برخوردار خواهد بود [۵۰].مروی بر تحقیقات قبلی نشان داد که رطوبت نهایی فیلم‌های تولیدی بر پایه کفیران [۵۱،۱]، صمغ کربوهیدراتی دانه شاهی [۵۲]، اسفرزه [۵۳] و صمغ هندی [٥٤] با افزایش گلیسرول به عنوان نرم‌کننده افزایش یافته است. بر اساس گزارش این محققان ماهیت آب‌دوستی فیلم‌های تولیدی حاوی غلظت بالاتری از گلیسرول بیش‌تر بوده است و علت این پدیده را به توانایی مولکول گلیسرول به جذب آب بیشتر نسبت دادند که از این حیث نتایج حاصل از این تحقیق مبنی بر افزایش معنی‌دار مقدار رطوبت نهایی فیلم در سطح آماری ۵ درصد، با افزایش مقدار نرم کننده گلیسرول از ۲۵ به ٤٥ درصد با نتایج محققان فوق مطابقت داشت. با این وجود مقدار رطوبت نهایی فیلم‌های تولیدی حاوی سوربیتول با افزایش غلظت نرم-کننده افزایش معنی‌داری مشاهده نشد ($p>0.05$) که از این حیث با نتایج Ghasemlou و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت [۱]، در حالی‌که با نتایج Zhang و همکاران (۲۰۱٦) مطابقت نداشت [٥٤]. علت این اختلاف نتایج را می‌توان به تفاوت ماهیت پلی-مرها از لحاظ شیمیایی و نیز روش تولید فیلم نسبت داد [۲۹،۱]. علاوه بر موارد اشاره شده در بالا بر اساس گزارش Zhang, Y., & Han, J (۲۰۰٦)، وزن مولکولی و شکل فضایی نرم‌کننده می‌تواند بر ویژگی‌های فیلم تولیدی تاثیر به‌سزایی داشته باشد [٤٩]. گلیسرول و سوربیتول از دسته پلی‌الهایی با ساختار خطی مشابه و وزن مولکولی متفاوت هستند، به‌طوری‌که در مقدار ثابت تعداد مولکول گلیسرول (با فرمول مولکولی $C_3H_8O_2$ و جرم مولکولی ۹۲/۰۹ گرم بر مول) بیش از سوربیتول (با فرمول مولکولی $C_6H_{14}O_6$ و جرم مولی ۱۸۲/۱۷ بر مول) خواهد بود. بر این اساس اختلاف وزن مولکولی بین گلیسرول و سوربیتول می‌تواند مسئول تفاوت در رطوبت نهایی فیلم تولیدی قلمداد شود [۳٤].

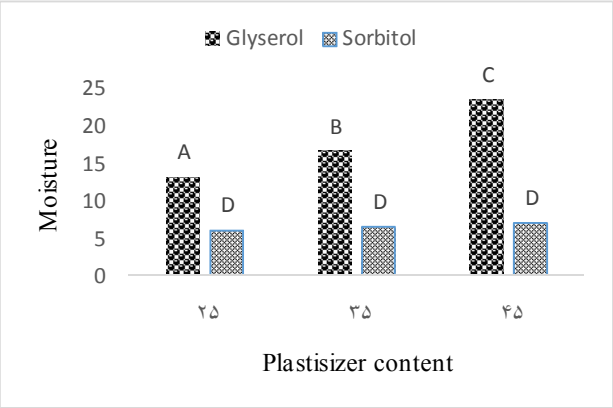


Fig 3 Effect of plasticizer level and type on films'moisture content

۳-٤- تاثیر نوع و مقدار نرم‌کننده بر نفوذپذیری نسبت به بخار آب

انتقال آب در بسته‌بندی مواد غذایی می‌تواند تسریع کننده مکانیسم تخریب مواد غذایی مانند قهوه‌ای شدن، اکسیداسیون لیپیدی، فعالیت آنزیمی، رشد میکروبی، تغییرات بافتی و کاهش کیفیت و عمر نگه‌داری مواد غذایی گردد [٤٤]. بنابراین نفوذپذیری نسبت به بخار آب یک ویژگی مهم برای بسته‌بندی مواد غذایی محسوب می‌شود. فیلم حاصل از پودر نرم گندم حاوی ۲۵ درصد گلیسرول ($۱/۱٤\times۱۰^{-۱۰}$ $gm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$) در مقایسه با سایر فیلم‌های زیستی بر پایه آرد مانند آرد آچیرا [۱] ($۵/۳\times۱۰^{-۱۰}$) وآرد تاج خروس ($۳/۸\times۱۰^{-۱۰}$) در غلظت یکسان نرم کننده از نفوذپذیری پایین‌تری برخوردار بود [٥٦،٥٥]. تاثیر نوع و غلظت نرم‌کننده بر ویژگی‌های نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌های بر پایه پودر نرم گندم در جدول ۲ نشان داده شده است. بیشترین و کمترین مقدار نفوذپذیری نسبت به بخار آب در فیلم پودر نرم گندم به‌ترتیب مربوط به فیلم زیستی حاوی ٤٥ درصد گلیسرول ($۱/۹۸\times۱۰^{-۱۰}$ $gm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$) و ۳۵ درصد سوربیتول ($۰/۵۱\times۱۰^{-۱۰}$ $gm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$) بود. همان‌طوری که در جدول ۲ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت نرم‌کننده گلیسرول از ۲۵ درصد به ٤٥ درصد نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌های تولیدی افزایش یافت. با افزایش غلظت نرم‌کننده، نیروی بین مولکولی بین زنجیره‌های پلی‌مر کاهش و فضای آزاد و جنبش بین بخش‌ها افزایش می‌یابد و مولکول‌های آب به آسانی در ماتریکس فیلم منتشر می‌گردند [۳٤]. بر اساس گزارش محققان پیشین با افزایش مقدار نرم‌کننده نفوذپذیری نسبت به بخار آب در فیلم‌های زیستی بر پایه دانه به [٤٧]، نشاسته کاساوا [٤٦]، فیلم نشاسته سیب زمینی [٤٨] کفیران [۱] و صمغ تارا [۲۹] افزایش یافته است که از این حیث با نتایج به دست آمده از این تحقیق مبنی بر افزایش نفوذپذیری به بخار آب مطابقت داشت. لازم به ذکر است که با توجه به ویژگی‌های فیلم تولیدی حاوی ۲۵ درصد سوربیتول (سخت و شکننده) امکان ارزیابی نفوذپذیری نسبت به بخار آب وجود نداشت. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، تغییرات نفوذپذیری نسبت به بخار آب به‌طور واضح تحت تاثیر نوع نرم‌کننده قرار داشت. نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌های زیستی حاوی ۳۵ درصد سوربیتول ($۰/۵۱\times۱۰^{-۱۰.۱}$ $gm^{-1}s^{-1}Pa^{-}$) در مقایسه با فیلم‌های حاوی گلیسرول در غلظت مشابه ($۱/٤۹\times۱۰^{-۱۰}$ $gm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$) کم‌تر بود که علت این پدیده را بر اساس گزارش رودریگز Rodríguez (۲۰۰٦)می‌توان به وزن مولکولی پایین تر و ماهیت آب‌دوستی بیشتر گلیسرول نسبت داد به‌طوری‌که این ترکیب به آسانی می‌تواند درون زنجیره‌های پلی‌مر نفوذ کند و با کاهش نیروی جاذب بین زنجیره‌های پلی‌مر سبب افزایش حجم فضای آزاد و حرکت بین بخش‌ها گردد که متعاقب آن نرخ انتقال بخار آب افزایش می‌یابد[۵۷]. در همین راستا محققان تاثیر نرم کننده سوربیتول در مقایسه با گلیسرول در پلی‌مرهای زیستی نظیر آرد برنج [۱۳]، صمغ دانه مریم گلی [۵۸] ، کفیران [۱] را مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل از این تحقیق با یافته‌های محققان فوق مبنی بر نفوذپذیری در برابر بخار آب پایین‌تر فیلم‌های حاوی سوربیتول مطابقت داشت.

۳-۵- تاثیر نوع و مقدار نرم‌کننده بر حلالیت در آب فیلم‌های تولیدی

پایداری در برابر آب یکی از خصوصیات مهم تجاری فیلم‌ها محسوب می‌گردد [۵۹]. به‌عبارتی توانایی فیلم جهت کاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی نیازمند حفظ تمامیت شکل فیلم در تماس با ماده غذایی است. تاثیر نوع و غلظت نرم‌کننده بر حلالیت در آب فیلم پودر نرم گندم در شکل ٤ نشان داده شده است. بیشترین

1. Achira flour

حلالیت فیلم‌های مورد بررسی متعلق به فیلم زیستی حاوی ٤٥ درصد گلیسرول (٤٨ درصد) و کمترین آن مربوط به فیلم زیستی حاوی ٢٥ درصد سوربیتول (٣٢ درصد) بود. مقایسه شاخص حلالیت فیلم‌های تولیدی در این تحقیق با سایر محققان نظیر Hosseini و همکاران (٢٠١٣)، Razavi و همکاران (٢٠١٥) به‌ترتیب مبنی برحلالیت ٧١ درصدی زیست پلی‌مر ژلاتین و ٨٢-٦٥ درصد فیلم صمغ مریم گلی نشان دهنده پتانسیل بهتر فیلم زیستی حاصل از پودر نرم گندم جهت کاربرد در صنعت بسته-بندی مواد غذایی بود. [٥٨،٦٠]. لازم به ذکر است فیلم زیستی تولیدی در مقایسه با برخی دیگر از پلی‌مرهای زیستی نظیر زئین، Kashiri و همکاران (٢٠١٦) از حلالیت بالاتری برخوردار بود [٤٣].

حلالیت در آب فیلم‌های تولیدی به طور واضح تحت تاثیر نوع و غلظت نرم‌کننده قرار داشت. به‌طوری‌که با افزایش غلظت گلیسرول از ٢٥ درصد به ٤٥ درصد حلالیت فیلم به ترتیب از ٣٨/٢٧ درصد به ٤٨/٦٠ درصد افزایش نشان داد که از این حیث با نتایج Ghasemlou و همکاران (٢٠١١) مطابقت داشت [١]. با توجه به ماهیت نرم‌کننده و توانایی آن در کاهش واکنش بین مولکولی پلی‌مرها، این ترکیبات می‌توانند با افزایش نیروی جذب مولکول‌های آب، حلالیت فیلم‌های زیستی را افزایش دهند. همان‌گونه که در شکل ٤ نشان داده شده است، حلالیت فیلم زیستی حاوی نرم‌کننده گلیسرول بیش از فیلم حاوی نرم‌کننده سوربیتول بود. همان‌طوری که قبلا اشاره شده بود وزن مولکولی کمتر گلیسرول در مقایسه با سوربیتول به آسانی امکان ورود این ترکیب به زنجیره‌های پلی‌مر را فراهم می‌سازد. مشاهدات عینی حین آزمون نیز حاکی از آن بود که فیلم حاوی سوربیتول در تماس با آب تمامیت خود را بهتر حفظ نموده در حالی‌که فیلم حاوی گلیسرول آب زیادی جذب و متورم می‌گردد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج سایر محققان مبنی بر تاثیر گلیسرول بر افزایش حلالیت در آب فیلم در مقایسه با سوربیتول در فیلم‌های بر پایه کفیران [١]، صمغ کوردیا [٣٥] و آرد ذرت [٢٧] مطابقت داشت.

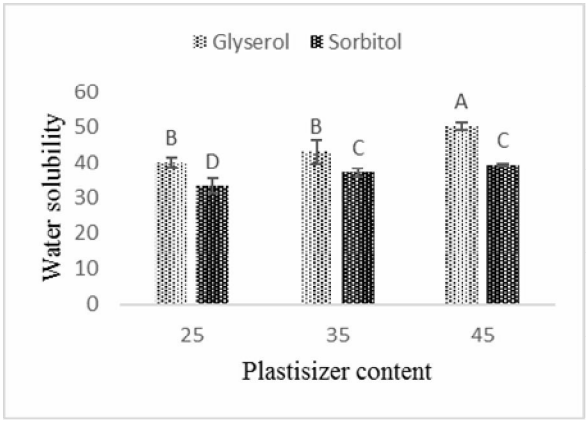


Fig 4 Effect of plasticizer level and type on films'water solubility

٣-٦- تاثیر نوع و مقدار نرم‌کننده بر خواص مکانیکی فیلم‌های تولیدی

خصوصیات مکانیکی بیانگر مقاومت فیلم در برابر فشارهای وارد شده در طول دوره نگهداری است. از مهم‌ترین فاکتورهای ارزیابی خواص مکانیکی می‌توان به مقاومت به کشش، کشش پذیری و مدول الاستیک اشاره کرد.خصوصیات مکانیکی فیلم‌های بر پایه پودر نرم گندم در جدول ٣ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق و مقایسه با نتایج سایر محققان می‌توان بیان داشت که میزان کشش‌پذیری فیلم بر پایه پودر نرم گندم حاوی ٢٥درصد گلیسرول بیش از فیلم نشاسته کاساوا [٦١] و آرد آچیرا [٥٥] بود.

همان‌طوری که در جدول ٣ نشان داده شده است با افزایش مقدار نرم‌کننده، مقاومت کششی کاهش و کشش‌پذیری فیلم‌های مورد بررسی افزایش نشان داد. لازم به ذکر است که فیلم زیستی حاوی ٢٥ درصد سوربیتول بسیار شکننده و قابلیت قرارگیری در دستگاه جهت ارزیابی را نداشت. بیشترین مقاومت کششی مربوط به نمونه حاوی ٣٥ درصد سوربیتول (٦/٨٣ مگاپاسکال) و کمترین آن به نمونه حاوی ٤٥ درصد گلیسرول (١/٥٣ مگاپاسکال) اختصاص داشت. هم‌چنین بیشترین کشش‌پذیری مربوط به فیلم حاوی ٤٥ درصد گلیسرول (٤٠/١١ درصد) بود. در همین راستا Muscat و همکاران (٢٠١٢) بیان داشتند که حضور نرم‌کننده در ساختار پلی‌مر سبب تخریب نیروی جاذبه بین مولکولی بین زنجیره‌های پلی‌مر و تشکیل پیوند هیدروژنی جدید بین مولکول‌های پلی‌مر و نرم‌کننده می‌گردد، متعاقب این پدیده،

مقاومت کششی فیلم به‌دلیل تضعیف باندهای هیدروژنی بین زنجیره‌های پلی‌مر، کاهش و کشش‌پذیری فیلم افزایش می‌یابد [٦٢].

مقایسه تاثیر نوع نرم‌کننده بر مقاومت کششی و کشش‌پذیری فیلم‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد در فیلم‌های زیستی حاوی سوربیتول در مقایسه با گلیسرول بود که از این حیث با نتایج سایر محققان در خصوص اثر نرم‌کنندگی مطلوب‌تر گلیسرول در مقایسه با سوربیتول در فیلم حاصل بر پایه نشاسته سیب زمینی [٦٣] و نشاسته کاساوا [٣٢] و کفیران [١] و آرد ذرت[٢٧] مطابقت داشت که علت این پدیده را بر اساس گزارش محققان پیشین می توان به وزن مولکولی پایین‌تر گلیسرول (۹۲ گرم بر مول) در مقایسه با سوربیتول(۱۸۲ گرم بر مول) و تاثیر آن بر کاهش انرژی مورد نیاز برای حرکت زنجیره‌های پلی‌مر به سبب تسریع ورود گلیسرول در زنجیره‌های پلی‌مر و کاهش نیروی جاذب بین مولکولی نسبت داد [٣١].

مدول الاستیک نشان دهنده سختی فیلم است. فیلم حاوی سوربیتول مدول الاستیک (٥٦٣/٤٧ مگاپاسکال) بالاتری نسبت به فیلم حاوی گلیسرول (٣٨/٦٩ مگاپاسکال) نشان داد. با افزایش مقدار نرم‌کننده سختی فیلم‌ها در نمونه‌های مورد بررسی کاهش نشان داد، که با نتایج Dias و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر کاهش مدول الاستیک با افزایش گلیسرول و سوربیتول در فیلم آرد برنج مطابقت داشت [١٣].

Table 3 Effect of plasticizer level and type on films's Mechanical properties

Plasticizer type	Content % (v/v) based on FP content	Elongation (%)	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (MPa)
Glyserol	25	31.16±2.23^{b}	5.20± 1.26^{a}	109.499±5.64^{c}
	35	37.52±4.17^{a}	4.90 ±1.54^{a}	83.66 ±6.82^{c}
	45	40.11±1.43^{a}	1.53 ±0.35^{b}	38.69±13.48^{c}
Sorbitol	25	-	-	-
	35	0.12±0.07^{c}	6.83±0.70^{a}	1071.31± 68.91^{a}
	45	0.16 ±0.03^{c}	6.16±1.80^{a}	563.47 ±16.24^{b}

Values in vertical columns with different letters are significantly different (P<0.05).

۳-۷- تاثیر نوع و مقدار نرم‌کننده بر خواص رنگی فیلم‌های تولیدی

شفافیت و رنگ، یکی از عوامل مهم تعیین کیفیت است که از جنبه مقبولیت مصرف کننده ماده غذایی در صنعت بسته‌بندی مورد توجه قرار دارد. رنگ یک فاکتور مهم در پذیرش مصرف کننده در فیلم‌های خوراکی و غیر خوراکی است. تفاوت‌های رنگی به دست آمده در فیلم‌های زیستی ممکن است به‌دلیل ویژگی‌های محلول تشکیل دهنده فیلم، ماهیت و غلظت پلی‌مر، تاثیر نوع و غلظت نرم‌کننده و شرایط نگه‌داری فیلم باشد [٥٨]. پارامترهای اندازه‌گیری رنگ شامل L*, a*, b* ، اختلاف رنگی کل، اندیس سفیدی و اندیس زردی است. این مقادیر در جدول (٤) نشان داده شده است. مقدار روشنی بالا در هر دو نمونه گلیسرول و سوربیتول در همه غلظت‌ها شفافیت بالای فیلم پودر نرم گندم را تایید می‌کند که ویژگی مطلوب در فیلم‌ها و پوشش-های خوراکی است. مقدار L* با افزایش مقدار نرم کننده افزایش یافته بود. شفافیت نمونه‌های حاوی سوربیتول بیشتراز نمونه‌های حاوی گلیسرول بود. شفافیت فیلم پودر نرم گندم از فیلم بر پایه صمغ مریم گلی [٥٨] و صمغ دانه به [٤٧] بیشتر بود. مقدار a* مثبت نشان دهنده وجود رنگ قرمز در فیلم بود. افزایش نرم‌کننده تاثیر معنی‌داری بر روی مقدار a* فیلم‌های تولیدی نداشت. b* مثبت نشان‌دهنده مقدار زردی رنگ فیلم پودر نرم گندم بود. مقدار b* با افزایش نرم کننده کاهش پیدا کرده بود. مقدار b* فیلم حاوی گلیسرول بیشتر از فیلم‌های حاوی سوربیتول بود. حضور لیپید و پروتئین در ساختار پودر نرم گندم باعث پدیدار شدن رنگ زرد و قرمز در فیلم پودر نرم گندم می‌شود [٢٤]. پارامترهای دیگر اندازه‌گیری رنگ مانند اختلاف رنگی کل و اندیس سفیدی واندیس زردی را نیز می‌توان برای

تفسیر کردن تاثیر نوع و غلظت نرم‌کننده روی تغییرات رنگ استفاده کرد. با افزایش مقدار نرم‌کننده در نمونه فیلم‌های تولیدی مقدار اختلاف رنگی کل کاهش، اندیس سفیدی افزایش و اندیس زردی کاهش نشان داد. این نتایج با گزارشات سایر محققان مبنی بر کاهش مقدار اختلاف رنگی کل و افزایش اندیس سفیدی در فیلم‌های صمغ دانه به [٤٧]،کفیران [١] مطابقت داشت. مقدار اختلاف رنگی کل فیلم‌های حاوی گلیسرول بیشتر از فیلم‌های حاوی سوربیتول و اندیس سفیدی فیلم‌های حاوی سوربیتول بالاتر از گلیسرول بود.

Table 4 Effect of plasticizer level and type on films's color values

Plasticizer type	Content % (v/v) based on FP content	L*	a*	b*	ΔE	WI
Glycerol	25	90.56±0.45^{a}	1.56±0.40^{a}	10.36±0.15^{a}	10.82±0.05^{a}	85.88±0.06^{a}
	35	92.63±0.23^{b}	1.86±0.23^{a}	8.76±0.49^{b}	8.45±0.32^{c}	88.39±0.29^{c}
	45	92.73±0.40^{b}	1.73±0.46^{a}	8.73±0.46^{b}	8.35±0.33^{c}	88.49±0.32^{c}
Sorbitol	25	91.4±0.4^{c}	1.63±0.40^{a}	9.53±0.37^{b}	9.71±0.49^{b}	87.05±0.04^{b}
	35	93.03±0.23^{d}	1.3±0.17^{a}	6.96±0.46^{c}	6.67±0.41^{d}	90.05±0.41^{d}
	45	93.56±0.46^{d}	1.46±0.46^{a}	5.63±0.46^{d}	5.43±0.25^{e}	91.30±0.29^{e}

Values in vertical columns with different letters are significantly different (P<0.05).

۳-۸- ارزیابی شکل شناسی فیلم با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM)

شکل ٥ سطح رویی فیلم‌های پودر نرم گندم تولید شده بدون نرم‌کننده (a) ، حاوی نرم‌کننده گلیسرول (b) و حاوی نرم‌کننده سوربیتول (C) را نشان می‌دهد. فیلم بدون نرم‌کننده ساختاری ناهمگن، خشن و غیر یکنواخت را نشان می‌دهد. فیلم بدون نرم‌کننده کاملا خرد و شکننده بود.

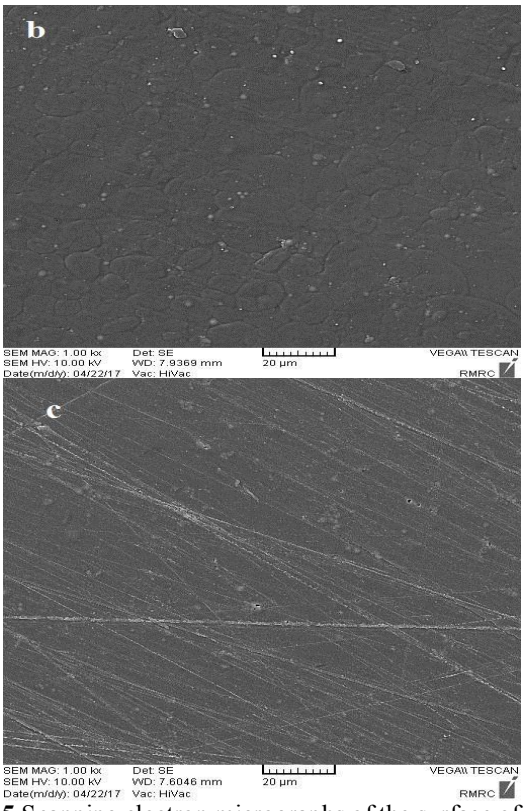
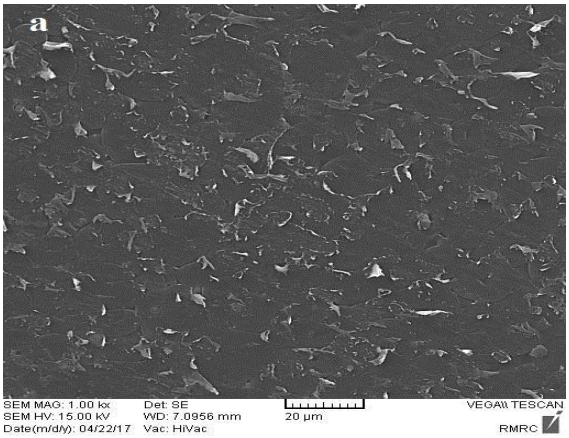


Fig 5 Scanning electron micrographs of the surface of fine powder of wheat -based films. a) Films without plasticizer; b) Films plasticized with glycerol (0.35 g/g of dry fine powder of wheat), and c) Films plasticized



with sorbitol (0.35 g/g of dry fine powder of wheat)

تصاویر فیلم‌های حاوی ۳۵ درصد سوربیتول تجمع رسوبات در سطح فیلم را نشان داد که ممکن است به دلیل کریستاله شدن سوربیتول در حین خشک شدن محلول فیلم و تجمع آن‌ها در سطح فیلم باشد که این تجمع رسوب‌ها می‌تواند در کاهش انتقال بخار آب از سطح فیلم موثر باشد. از طرفی دیگر باعث خشکی و سختی فیلم می‌شود که نتایج آزمون‌های مکانیکی تایید کننده این مطلب است.

فیلم حاوی ۳۵ درصد گلیسرول سطح یکنواختی و ساختار منسجم‌تری را نشان می‌دهد. یکنواختی ساختار فیلم ویژگی‌های مکانیکی مطلوبی و انعطاف‌پذیری بالایی در فیلم حاوی گلیسرول نشان داد.

٤- نتیجه‌گیری

پودر نرم گندم به‌عنوان ماده اولیه حاصل از ضایعات کارخانجات آردسازی گندم از پتانسیل خوبی برای تولید فیلم به روش قالب-گیری برخوردار بود. بررسی اثر حضور گلیسرول و سوربیتول به-عنوان نرم‌کننده در غلظت‌های مختلف نشان داد که رطوبت، حلالیت در آب، نفوذپذیری در برابر بخار آب و خواص مکانیکی فیلم‌ها تحت تاثیر نوع و غلظت نرم‌کننده قرار داشت. فیلم زیستی حاوی سوربیتول در غلظت‌های پایین بسیار سخت و شکننده بود. گلیسرول در مقایسه با سوربیتول اثر نرم‌کنندگی بهتری در فیلم زیست پلی‌مر تولیدی داشت.

٥- منابع

[1] Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., & Oromiehie, A. (2011). Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefiran *Carbohydrate Polymers., 84*(1), 477-483.

[2] Davis, G., & Song, J. (2006). Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. *Industrial Crops and Products., 23*(2), 147-161.

[3] Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging—roles, materials, and environmental issues. . *Journal of foodscience., 72*(3),R39-R55.

[4] BCC Research. 2012. Global markets and tecnologies for bioplastics. In Report code PLS050B).available at http://www.bccresearch.com/report/bioplastics markets-technologies-pls050b.html [5] Jongjareonrak, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Tanaka, M. (2006). Effects of plasticizers on the properties of edible films from skin gelatin of bigeye snapper and brownstripe red snapper. . *European Food Research and Technology., 222*(3-4), 229-235.

[6] Sobral, P., Monterrey-Q, E., & Habitante, A. (2002). Glass transition study of Nile Tilapia myofibrillar protein films plasticized by glycerin and water. *Journal of thermal Analysis and Calorimetry., 67*(2), 499-504.

[7] Pommet, M., Redl, A., Morel, M.-H., & Guilbert, S. (2003). Study of wheat gluten plasticization with fatty acids. *Polymer., 44*(1), 115-122.

[8] Ghanbarzadeh, B., & Almasi, H. (2011). Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethyl cellulose and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules, 48*(1), 44-49.

[9] Pranoto, Y., Salokhe, V. M., & Rakshit, S. K. (2005). Physical and antibacte rial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. *Food Research International., 38*(3), 267-272.

[10] Espitia, P. J. P., Du, W.-X., de Jesús Avena-Bustillos, R., Soares, N. d. F. F., & McHugh, T. H. (2014). Edible
films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties-A review. *Food Hydrocolloids, 35*, 287-296.

[11] Smits, A., Kruiskamp, P., Van Soest, J., & Vliegenthart, J. (2003). Interaction between dry starch and plasticisers glycerol or ethylene glycol, measured by differential scanning calorimetry and solid state NMR spectroscopy.*Carbohydrate Polymers., 53*(4), 409-416.

[12] Huang, M., Yu, J., & Ma, X. (2005). Ethanolamine as a novel plasticiser for thermoplastic starch. *Polymer*
Degradation and Stability ., 90(3), 501-507.

[13] Dias, A. B., Müller, C. M., Larotonda, F. D., & Laurindo, J. B. (2010). Biodegradable films based on rice starch and rice flour. Journal of Cereal Scienc., 51(2), 213-219.
[14] Bergo, P., Carvalho, R., Sobral, P., Dos Santos, R., Da Silva, F., Prison, J., Solorza□Feria, J., & Habitante, A.
(2008). Physical properties of edible films based on cassava starch as affected by the plasticizer concentration. Packaging Technology and Science., 21(2), 85-89.
[15] Avérous, L., Fringant, C., & Moro, L. (2001). Plasticized starch–cellulose interactions in polysaccharide composites. *Polymer, 42*(15), 6565-6572.
[16] Mali, S., Grossmann, M. V. E., Garcia, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2002). Microstructural characterization of yam starch films. . *Carbohydrate Polymers., 50*(4), 379-386.
[17] Lourdin, D., Della Valle, G., & Colonna, P. (1995). Influence of amylose content on starch films and foams. Carbohydrate Polymers., 27(4), 261-270.
[18] Mchugh, T. H., AUJARD, J. F., & Krochta, J. (1994). Plasticized whey protein edible films: water vapor permeability properties. Journal of Food Science., 59(2), 416-419.
[19] Jagannath, J., Nanjappa, C., Das Gupta, D., & Bawa, A. (2003). Mechanical and barrier properties of edible starch–protein□based films. Journal of applied polymer science., 88(1), 64-71.
[20] Coughlan, K., Shaw, N., Kerry, J., & Kerry, J. (2004). Combined Effects of Proteins and Polysaccharides on Physical Properties of Whey Protein Concentrate□based Edible Films. . Journal of food science., 69(6).
[21] Corradini, E., Carvalho, A. J. F. d., Curvelo, A. A. d. S., Agnelli, J. A. M., & Mattoso, L. H. C. (2007). Preparation and characterization of thermoplastic starch/zein blends. . Materials Research., 10(3), 227-231.
[22] Garcia, M., Martino, M., & Zaritzky, N. (2000). Lipid addition to improve barrier properties of edible starch based films and coatings. Journal of food science., 65(6), 941-944.
[23] Bravin, B., Peressini, D., & Sensidoni, A. (2004). Influence of emulsifier type and content on functional properties of polysaccharide lipid-based edible films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52*(21), 6448-6455.
[24] Tapia□Blácido, D., Mauri, A. N., Menegalli, F., Sobral, P., & Añón, M. C. (2007). Contribution of the starch, protein, and lipid fractions to the physical, thermal, and structural properties of amaranth (Amaranthus caudatus) flour films. Journal of food science., 72(5), E293-E300.
[25] Tapia-Blácido, D., Sobral, P. J., & Menegalli, F. C. (2005). Development and characterization of biofilms based on Amaranth flour (Amaranthus caudatus). Journal of Food Engineering., 67(1), 215-223.
[26] Colla, E., do Amaral Sobral, P. J., & Menegalli, F. C. (2006). Amaranthus cruentus flour edible films: influence
of stearic acid addition, plasticizer concentration, and emulsion stirring speed on water vapor permeability and mechanical properties. . Journal of agricultural and food chemistry., 54(18), 6645-6653.
[27] Solano, A. C. V., & de Gante, C. R. (2014). Development of biodegradable films based on blue corn flour with potential applications in food packaging. Effects of plasticizers on mechanical, thermal, and microstructural
properties of flour films. . Journal of Cereal Science, 60(1), 60-66.
[28]Borneo, R., Alba, N., & Aguirre, A. (2016). New films based on triticale flour: Properties and effects of storage
time. . Journal of Cereal Science., 68, 82-87.
[29] Antoniou, J., Liu, F., Majeed, H., Qazi, H. J., & Zhong, F. (2014). Physicochemical and thermomechanical characterization of tara gum edible films: effect of polyols as plasticizers. Carbohydrate Polymers., 111, 359-365.
[30] Suyatma, N. E., Tighzert, L., Copinet, A., & Coma, V. (2005). Effects of hydrophilic plasticizers on
mechanical, thermal, and surface properties of chitosan films. Journal of Agricultural and Food Chemistry., 53(10), 3950-3957.
[31] Vieira, M. G. A., da Silva, M. A., dos Santos, L. O., & Beppu, M. M. (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. European Polymer Journal., 47(3), 254-263.

low affinity toward water. Food Chemistry., 122(1), 161-166.
[43] ASTM, 1995. Standard test method for water vapor transmission of material, E 96-95. Annual Book of American Standard. American Society for Testing and material. Philadelphia, PA.
[44] Kashiri, M., Cerisuelo, J. P., Domínguez, I., López-Carballo, G., Hernández-Muñoz, P., & Gavara, R. (2016).Novel antimicrobial zein film for controlled release of lauroyl arginate (LAE). Food Hydrocolloids., 61, 547-554.
[45] ASTM, 2001. Standard test method for tensile Properties of thin plastic sheeting. Standard D882 Annual book of ASTM. Philaelpia, PA: American Society for Testing and Materials.
[46] Müller, C. M., 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(1), 82-87.
[47] Jouki, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., & Koocheki, A. (2013). Physical, barrier and antioxidant properties of a novel plasticized edible film from quince seed mucilage. International journal of biological macromolecules., 62, 500-507.
[48] Mali, S., Grossmann, M. V. E., García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2004). Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. Carbohydrate Polymers., 56(2), 129-135.
[49] Zhang, Y., & Han, J. (2006). Mechanical and thermal characteristics of pea starch films plasticized with monosaccharides and polyols. Journal of food science., 71(2).
[50] Garcia, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2000). Microstructural Characterization of Plasticized Starch□Based Films. Starch- Stärke, 52(4), 118-124.
[51] Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., Oromiehie, A., & Yarmand, M. S. (2011). Development and characterisation of a new biodegradable edible film made from kefiran, an exopolysaccharide obtained from kefir grains. Food Chemistry, 127(4), 1496-1502.
[52] Jouki, M., Khazaei, N., Ghasemlou, M., & HadiNezhad, M. (2013). Effect of glycerol
[32] Mali, S., Sakanaka, L., Yamashita, F., & Grossmann, M. (2005). Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. . Carbohydrate Polymers., 60(3), 283-289.
[33] Mikkonen, K. S., Rita, H., Helén, H., Talja, R. A., Hyvönen, L., & Tenkanen, M. (2007). Effect of
polysaccharidestructure on mechanical and thermal properties of galactomannan-based films. Biomacromolecules, 8(10), 3198-3205.
[34] Sothornvit, R., & Krochta, J. M. (2001). Plasticizer effect on mechanical properties of β-lactoglobulin films. Journal of Food Engineering ., 50(3), 149-155.
[35] Haq, M. A., Hasnain, A., & Azam, M. (2014). Characterization of edible gum cordia film: Effects of
plasticizers. LWT-Food Science and Technology, 55(1), 163-169.
[36] Sothornvit, R., & Krochta, J. M. (2005). Plasticizers in edible films and coatings-23.
[37] Skurtys, O., Acevedo, C., Pedreschi, F., Enrione, J., Osorio, F., & Aguilera, J. (2010). Food hydrocolloid edible films and coatings. Food Hydrocolloids: Characteristics, Properties, Nova Science Publishers, Inc.
[38] Coupland, J. N., Shaw, N. B., Monahan, F. J., O'Riordan, E. D., & O'Sullivan, M. (2000). Modeling the effect of glycerol on the moisture sorption behavior of whey protein edible films. Journal of Food Engineering., 43(1), 25-30.
[39] McHugh, T. H., & Krochta, J. M. (1994). Sorbitol-vs glycerol-plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. Journal of agricultural and food chemistry., 42(4), 841-845.
[40] AACC. 2000. Approved Metods of the American Association of Creal Chemists, 10 th Ed., Vol. 2. American Association of Creal Chemists, St. Paul, MN.
[41] AOAC. (2005). Association of Official Analytical Chemist: Official metods of analysis (18th ed.).
Washington,DC.
[42] Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., & Hosseini, S. M. H. (2010). Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with

concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum. Carbohydrate polymers., 96(1), 39-46.

[53] Ahmadi, R., Kalbasi-Ashtari, A., Oromiehie, A., Yarmand, M.-S., & Jahandideh, F. (2012). Development and characterization of a novel biodegradable edible film obtained from psyllium seed (Plantago ovata Forsk). Journal of Food Engineering ., 109(4), 745-751.

[54] Zhang, P., Zhao, Y., & Shi, Q. (2016). Characterization of a novel edible film based on gum ghatti: Effect of plasticizer type and concentration. Carbohydrate polymers., 153, 345-355.

[55] Andrade-Mahecha, M. M., Tapia-Blacido, D. R., & Menegalli, F. C. (2012). Development and optimization of biodegradable films based on achira flour. Carbohydrate Polymers., 88(2), 449-458.

[56] Tapia-Blácido, D., do Amaral Sobral, P., & Menegalli, F. (2011). Optimization of amaranth flour films plasticized with glycerol and sorbitol by multi-response analysis. LWT-Food Science and Technology., 44(8), 1731-1738.

[57] Rodríguez, M., Oses, J., Ziani, K., & Mate, J. I. (2006). Combined effect of plasticizers and surfactants on the
physical properties of starch based edible films. Food Research International., 39(8), 840-846.

[58] Razavi, S. M. A., Amini, A. M., & Zahedi, Y. (2015). Characterisation of a new biodegradable edible film based on sage seed gum: Influence of plasticiser type and concentration. Food Hydrocolloid., 43, 290-298.

[59] Galus, S., & Kadzińska, J. (2016). Whey protein edible films modified with almond and walnut oils. Food Hydrocolloids., 52, 78-86.

[60] Hosseini, S. F., Rezaei, M., Zandi, M., & Ghavi, F. F. (2013). Preparation and functional properties of fish gelatin–chitosan blend edible films. Food Chemistry., 136(3–4), 1490-1495.

[61] Alves, V. D., Mali, S., Beléia, A., & Grossmann, M. V. E. (2007). Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. Journal of Food Engineering., 78(3), 941-946.

[62] Muscat, D., Adhikari, B., Adhikari, R., & Chaudhary, D. (2012). Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers. Journal of Food Engineering., 109(2),189-201.

[63] Talja, R. A., Helén, H., Roos, Y. H., & Jouppila, K. (2007). Effect of various polyols and polyol contents on physical and mechanical properties of potato starch-based films. *Carbohydrate Polymers., 67*(3), 288-295.

Effect of plasticizer type and concentration on properties of new biodegradable film based on fine powder of wheat

PeiroveMossavi, M. [1], Kashiri, M. [2*], Maghsoudlou, Y. [3], Khomiri, M. [4], Alami, M. [5]

1. M.Sc. student, Dept. of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Assistant Prof., Dept of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Professor, Dept of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,
4,5. Associate Prof., Dept. of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

(Received: 2017/09/23 Accepted:2017/12/02)

Fine powder of wheat is a natural polymer which is obtained from wheat milling process and due to decreasing the quality of flour separation of it is inevitable. Considering the importance of applying of industrial wastes, the aim of this study was using fine powder of wheat as a raw new material in the production of biodegradable film and evaluation of type and concentration of plasticizer (glycerol and sorbitol) in different the concentration (25, 35 and 45%) on physical and mechanical properties of produced films. Results of this studied showed that by increasing plasticizer concentration the thickness, moisture content, water solubility and flexibility of film decreased. Regarding to strong elasticity properties of the films prepared with sorbitol at low concentrations evaluation of tensile strength and water vapor properties was impossible. Increasing the concentration of glycerol compared with sorbitol had more impact on increasing of the humidity and water solubility. Water vapor properties of bio-films containing 35% sorbitol (0.51×10^{-10} $gm^{-1}s^{-1}Pa$) was lower compared to film containing glycerol at similar concentrations (1.49×10^{-10} $gm^{-1}s^{-1}Pa$).With increasing concentrations of glycerol, elongation of produced film increased from 31% to 40%, meanwhile maximum elongation for contains sorbitol was 0.16%. Based on the results obtained from this studied can be express that fine powder of wheat of had good potential for the produce of bio-films for food packaging and glycerol introduced as better plasticizer respect to sorbitol in fine powder of wheat based films.

Keywords: Fine powder of wheat, Biodegradable film, Glycerol , Sorbitol

* Corresponding Author E-Mail Address: Kashiri.m@gmail.com