

## Characterization of Physicochemical and Mechanical Properties of Biodegradable Hemicellulose-Gelatin Films

HASSAN BARZEGAR<sup>1\*</sup>, MOHAMMAD AMIN MEHRNIA<sup>2</sup>, MINA HASSANZADEH<sup>3</sup>

1. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and natural Resources University of Khuzestan, Molasani, Iran
2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and natural Resources University of Khuzestan, Molasani, Iran
3. MSc. Student, Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and natural Resources University of Khuzestan, Molasani, Iran

(Received: Dec. 26, 2010- Revised: Apr. 26, 2018- Accepted: May. 14, 2018)

### ABSTRACT

In this study, biodegradable hemicellulose-gelatin blend films with different ratios were developed to examine their physicochemical and mechanical properties. Films prepared with 25/75 hemicellulose/ gelatin in the ratio of 25/75, hemicellulose / gelatin, produced composite films, in comparison with other films showed the lowest water vapor permeability ( $4.59 \times 10^{-10} \text{g/msPa}$ ), water solubility (29.995%) and tensile strength (1.83 Mpa) and highest elongation at break (203.85%). Slight increase in hemicellulose concentration increased tensile strength, water solubility and water vapor permeability and lowered elongation at break comparing to control and further increase in hemicellulose rose water solubility and tensile strength and elongation at break decreased. Also, comparing the composite films with control film (gelatin film, HGa), it was observed that by adding 25% hemicellulose, the water solubility and the tensile strength of the films decreased and elongation at break increased. Afterwards with increasing ratio of hemicellulose solubility and tensile strength increased and on the other hand, elongation at break decreased. According to the results, it seems that the combination of hemicellulose-gelatin is a suitable mixture with significant properties for the production of biodegradable films.

**Keywords:** Hemicellulose, Sugarcane bagasse, Gelatin, Biodegradable film.

---

\* Corresponding Author's Email: [hbarzegar@ramin.ac.ir](mailto:hbarzegar@ramin.ac.ir)

## بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و مکانیکی فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر همی سلولز-ژلاتین

حسن برزگر<sup>۱\*</sup>، محمد امین مهرنیا<sup>۲</sup>، مینا حسن زاده<sup>۳</sup>

۱. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

۲. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

۳. کارشناس، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۲۴)

### چکیده

در این پژوهش، فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر همی سلولز-ژلاتین با نسبت‌های متفاوت تولید و خواص فیزیکوشیمیایی و مکانیکی آنها مطالعه شد. در نسبت ۷۵/۲۵، همی سلولز/ژلاتین، فیلم‌های ترکیبی تولید شده، در مقایسه با دیگر فیلم‌ها، کمترین نفوذپذیری به بخار آب ( $4.59 \times 10^{-1} \text{ g/msPa}$ )، کمترین حلالیت در آب (۲۹/۹۹۵ درصد)، کمترین مقاومت کششی (۱/۸۳ مگاپاسکال) و بیشترین درصد کشش در نقطه‌ی پارگی (۲۰۳/۸۵ درصد) را از خود نشان دادند. همچنین در مقایسه‌ی فیلم‌های ترکیبی تهیه شده با فیلم شاهد (فیلم ژلاتینی،  $HG_0$ )، مشاهده شد که با افزودن ۲۵ درصد همی سلولز میزان حلالیت در آب و همچنین مقاومت کششی فیلم‌ها، کاهش و درصد کشش در نقطه‌ی پارگی دچار افزایش زیادی شد و پس از آن با افزایش نسبت همی سلولز، حلالیت و مقاومت کششی رو به افزایش گذاشته و از سوی دیگر درصد کشش در نقطه‌ی پارگی کاهش یافت. با توجه به نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد ترکیب همی سلولز-ژلاتین، مخلوطی مناسب با ویژگی‌هایی قابل توجه برای تولید فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر باشد.

واژه‌های کلیدی: فیلم زیست‌تخریب‌پذیر، همی سلولز، ژلاتین، باگاس نیشکر

### مقدمه

بسته‌بندی‌های غذایی از نظر اهمیت حفظ و نگهداری تمام انواع مواد غذایی و همچنین مواد خام به ویژه در مقابل اکسیداسیون و فساد میکروبی و همچنین افزایش مدت زمان ماندگاری دارای اهمیت هستند. افزایش استفاده از پلیمرهای سنتزی در بسته‌بندی‌های مواد غذایی، با توجه به عدم زیست‌تخریب‌پذیری کامل آنها منجر به مشکلات زیست محیطی گسترده و جدی شده است (Sabiha-Hanim & Siti-Norsafurah, 2012). فیلم‌های خوراکی، لایه‌هایی نازک با پایه‌ی پلیمرهای زیستی هستند. این فیلم‌ها از دهه‌ی ۹۰ به دلیل خاصیت زیست‌تخریب‌پذیریشان مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند (Sobral et al., 2001). فیلم‌های خوراکی می‌توانند از منابع مختلفی از جمله پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و یا ترکیب آنها تهیه گردند. یکی از انواع پروتئین‌هایی که در تهیه فیلم‌های خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، ژلاتین می‌باشد که از تجزیه‌ی کلاژن به‌دست می‌آید. ژلاتین در میان هیدروکلوئیدها در داشتن خاصیت تشکیل فیلم قابل بازگشت با دما، در دمایی نزدیک به دمای بدن، منحصر به فرد می‌باشد. که این ویژگی به

علت استفاده در مصارف خوراکی و دارویی مهم است. ژلاتین شبکه‌ای سه بعدی همراه با نواحی بین مولکولی ریزکریستالی ایجاد می‌کند و از دست دادن آب سیستم می‌تواند باعث شکنندگی فیلم‌ها گردد. در نتیجه افزودن نرم‌کننده‌ها برای غلبه بر شکنندگی فیلم‌ها و بهبود انعطاف‌پذیری و همچنین افزایش مقاومت به ضربه‌ی فیلم‌ها و جهت جلوگیری از ترک خوردن در طول بسته‌بندی و انتقال اهمیت دارد (Cao et al., 2009). اخیراً تولید فیلم‌های خوراکی و زیست‌تخریب‌پذیر از پلی‌ساکاریدهایی با پایه‌ی گیاهی از جمله سلولز و همی سلولز توجه محققان را به خود جلب کرده‌است (Shimokawa et al., 2015). همی سلولزها گروه بزرگی از پلی‌ساکاریدهای یافت شده در سلول‌های دیواره‌ی اولیه و ثانویه‌ی تمام گیاهان می‌باشند. این میزان بالا از همی سلولز، آن را برای استفاده به عنوان عامل چسبنده، غلیظ‌کننده، پایدارکننده و همچنین به عنوان تشکیل‌دهنده‌ی فیلم و امولسیفایر مناسب می‌کند (Sun et al., 2010).

امروزه توجه جامعه‌ی جهانی و محققان به سمت استفاده‌ی بهینه از ضایعات و محصولات فرعی صنعت کشاورزی و غذا جلب شده‌است. و در این میان منابع همی سلولز، حاصل از تفاله‌ی نیشکر دارای اهمیت خاصی است. تفاله‌ی نیشکر در واقع همان ضایعات باقیمانده از کارخانجات صنعت نیشکر و تولید

\* نویسنده مسئول: hbarzegar@ramin.ac.ir

ژلاتین و گلیسرول از شرکت مرک، آلمان تهیه گردید. همچنین تمام مواد شیمیایی و حلال‌های استفاده شده در این پژوهش از درجه‌ی آزمایشگاهی برخوردار بودند.

#### استخراج همی سلولز از تفاله ی نیشکر

جهت استخراج همی سلولز از باگاس نیشکر، میزان ۱۰ گرم باگاس، از پیش خشک شده، به وسیله‌ی دستگاه سوکسله برای مدت زمان ۶ ساعت و با استفاده از مخلوط حلال اتانول/تولون مورد موم‌زدایی قرار گرفت (Xu et al., 2006). سپس تفاله‌های موم‌زدایی شده، حلال‌زدایی شد و پس از آن با محلول کلرید سدیم ۶ درصد مخلوط گردیده و با استفاده از استیک اسید خالص، pH آن بر روی ۳/۶ تنظیم گردید و برای مدت زمان ۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و همراه با هم زدن شدید مورد لیگنین‌زدایی قرار گرفت (Liu et al., 2016). سپس باگاس‌های رنگ‌بری شده برای مدت زمان ۴ ساعت در دمای محیط ابتدا با آب اکسیژنه ۱۲ درصد مخلوط شده و سپس با استفاده از محلول هیدروکسید سدیم ۶ مولار، pH آن بر روی ۱۲/۶ تنظیم گردیده و هم زده شد. در نهایت با استفاده از اسید کلریدریک ۶ مولار، pH به ۵/۶ رسانده شد. سپس تفاله‌های باقیمانده فیلتر گردید. مایع جمع‌آوری شده با ۳ برابر حجم خود اتانول ۹۶ درصد مخلوط شده و برای به‌دست آمده رسوب همی سلولز به حالت سکون قرارداده شد. رسوبات به‌دست آمده جمع‌آوری شده و در آن در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس در مرحله‌ی بعد همی سلولز استحصال با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز مورد بررسی و شناسایی قرار گرفت. (Brienzo et al., 2009).

#### تهیه فیلم‌ها

در این تحقیق، هفت گروه فیلم ترکیبی با نسبت‌های مختلف از ژلاتین و همی سلولز (۱:۰، ۰/۷۵:۰/۲۵، ۰/۴:۰/۶، ۰/۴۵:۰/۵۵، ۰/۳:۰/۷، ۰/۱۵:۰/۸۵، ۱:۰) تهیه گردید. محلول آبی ۱۰ درصد (وزنی/حجمی) برای هر کدام از فیلم‌های ترکیبی با نسبت‌های متفاوت ژلاتین و همی سلولز تهیه شده و به آن گلیسرول به میزان ۲ درصد نسبت به وزن ماده‌ی خشک فیلم به عنوان پلاستی‌سایزر اضافه گردید. برای تهیه محلول فیلم‌ها، ابتدا پودر ژلاتین در آب مقطر در دمای ۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌طور کامل حل شد و سپس به محلول تهیه شده از همی سلولز و نرم‌کننده که برای مدت زمان نیم ساعت به‌طور مداوم به کمک مگنت و هم زن در حال هم خوردن بوده اند، اضافه گردید و سپس مخلوط به‌طور پیوسته هم‌زده شد. محلول فیلم‌ها با نسبت‌های مختلف بیان شده در جدول شماره ۱ تهیه گردید.

الکل می‌باشد که هر سال به میزان تقریبی ۵۴ میلیون تن وزن خشک باگاس در سراسر جهان تولید می‌گردد. تفاله‌ی نیشکر منبعی غنی از سلولز، همی سلولز و لیگنین است. همی سلولز پلیمری تشکیل شده از زایلوز، گالاکتوز، مانوز، آرابینوز، و دیگر قندها می‌باشد. همی سلولزها معمولاً بر اساس باقیمانده قند موجود دسته‌بندی می‌شوند. همی سلولز پس از سلولز فراوان‌ترین کربوهیدرات موجود در زمین است (Sabiha-Hanim & Siti-Norsafurah, 2012). در سال‌های اخیر، مطالعاتی بر روی استخراج همی سلولز از منابع مختلف و تولید و بررسی خواص فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر تهیه شده از همی سلولز صورت گرفته‌است. در پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، همی سلولز از ساقه‌ی ذرت و پویشال چوادر مورد استخراج قرار گرفته و خصوصیات آن مورد بررسی قرار گرفت (Fang et al., 2000; Sun et al., 2010). در مطالعه‌ی دیگر ویژگی فیلم‌پذیری و همچنین خصوصیات ساختاری همی سلولز استخراج شده از برگ‌های کاج ژاپنی مورد بررسی قرار گرفت و بیان شد که همی سلولز کامل و همچنین بخش همی سلولز محلول در آب حاصله پس از حل شدن در آب قادر به تشکیل فیلم‌هایی پایدار بوده با این تفاوت که بخش همی سلولزی محلول در آب، فیلم شفاف‌تری تشکیل داده و برای راحت‌تر جدا شدن از کف قالب نیاز به ۱ درصد لسیترین به عنوان افزودنی دارد (Shimokawa et al., 2015). همچنین در مطالعه‌ی دیگر خصوصیات فیلم تهیه شده از همی سلولز به دست آمده از باگاس نیشکر مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که همی سلولز استخراجی از باگاس نیشکر قادر به تولید فیلم بوده و پتانسیل خوبی برای استفاده در تولید فیلم‌ها و بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر از خود نشان می‌دهد (Sabiha-hanim & Siti-Norsafurah, 2012). با توجه به مطالعات کتابخانه‌ای، تاکنون تحقیقی بر روی تولید و بررسی خصوصیات فیلم ترکیبی همی سلولز-ژلاتین صورت نگرفته است. از این رو، هدف از تحقیق صورت گرفته، بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مکانیکی فیلم‌های تهیه شده از مخلوط همی سلولز-ژلاتین و بررسی برهمکنش این دو پلیمر در تولید فیلم زیست تخریب پذیر بود.

#### مواد و روش‌ها

##### تهیه مواد اولیه

تفاله‌ی نیشکر (باگاس) از شرکت توسعه‌ی نیشکر و صنایع جانبی امیرکبیر (اهواز، خوزستان) تهیه شد. تفاله‌های نیشکر به قطعات کوچک (۲-۳ سانتی متری) خرد شده و سپس توسط آسیاب خانگی پارس خزر (ایران) به صورت پودر درآمد. پودر

برقرار شده و فنجانک‌ها درون دسیکاتور با رطوبت نسبی صفر درصد و در دمای محیط قرار داده شدند. پس از دو ساعت که فیلم‌ها از نظر رطوبت به تعادل رسیدند، میزان بخار عبوری از سطح مقطع فیلم‌ها با اندازه‌گیری کاهش وزن فنجانک‌ها در فاصله‌های زمانی هر یک و نیم ساعت محاسبه گردید (Otoni *et al.*, 2016).

#### بررسی خصوصیات رنگی

رنگ نمونه‌های فیلم با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (Konica minolta، مدل CR-400، ژاپن) مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی نمونه‌ها از مقیاس رنگی هانترلر استفاده شد که در آن روشنی از صفر تا ۱۰۰ (سیاه و سفید) و فاکتورهای رنگی  $a^+$  نشان‌دهنده‌ی رنگ قرمز،  $a^-$  نشان‌دهنده‌ی رنگ سبز،  $b^+$  نشان‌دهنده‌ی رنگ زرد و  $b^-$  نشان‌دهنده‌ی رنگ آبی می‌باشد. از صفحه‌ی سفید استاندارد با مشخصات ۹۳/۶۸ L، ۰/۶۹ a، ۰/۸۸ b: به عنوان مرجع استفاده شد. داده‌های گزارش شده، میانگین به‌دست آمده از بررسی چهار نقطه‌ی متفاوت از نمونه‌ها بود (Denavi *et al.*, 2009).

#### حلالیت در آب

به منظور بررسی حلالیت در آب، نمونه‌های فیلم به اندازه‌های ۲ سانتی‌متری بریده شده و پس از وزن کردن در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند و برای مدت زمان ۲۴ ساعت در دمای محیط (۲۵-۲۲ درجه‌ی سانتی‌گراد) به‌طور مداوم هم‌زده شد. سپس نمونه‌ها از کاغذ صافی شماره‌ی ۱ (از پیش وزن شده) عبور داده شده و کاغذ صافی به همراه اجزا حل نشده در آن تا خشک شدن کامل قرار داده شد. در انتها درصد حلالیت در آب به صورت درصد از وزن ابتدایی بیان گردید (Denavi *et al.*, 2009).

$100 \times \left[ \frac{\text{وزن خشک اولیه}}{\text{وزن خشک نهایی}} - \text{وزن خشک اولیه} \right] = \text{درصد حلالیت اولیه}$

#### خصوصیات مکانیکی

مقاومت کششی<sup>۲</sup> (TS) و درصد کشش در نقطه‌ی پارگی<sup>۳</sup> (EB) فیلم‌ها با استفاده از دستگاه بافت‌سنج مدل (MicroStable، TA.TX plus) تعیین گردید. قطعات فیلم با عرض ۱ سانتی‌متر و طول ۴ سانتی‌متر بریده شده و پیش از آزمون در محیطی با رطوبت نسبی ۵۱/۴ درصد (با استفاده از محلول منیزیم نیترات هگزا‌هیدراته) و در دمای اتاق مشروط گردید (ASTM, 2002).

۱۰ میلی‌لیتر از هر محلول فیلم تهیه شده درون ظروف پتری پلاستیکی با قطر ۱۰ سانتی‌متر ریخته شد و جهت خشک‌شدن، درون آون با درجه حرارت ۴۵ درجه‌ی سانتی‌گراد با جریان هوای مناسب به مدت ۶ ساعت قرار داده شد. سپس فیلم‌های خشک شده از ظروف جدا شده و در دمای اتاق و رطوبت نسبی رطوبت نسبی ۵۱/۴ درصد (با استفاده از محلول منیزیم نیترات هگزا‌هیدراته) در دسیکاتور مشروط شده و برای بررسی خصوصیات آنها مورد بررسی قرار گرفتند (Acosta *et al.*, 2016).

جدول ۱- نسبت ژلاتین/همی سلولز در فیلم‌های تولید شده

ژلاتین (گرم)	همی سلولز (گرم)	نمونه
۱	۰	نمونه ۱ (HG <sub>a</sub> )
۰/۷۵	۰/۲۵	نمونه ۲ (HG <sub>b</sub> )
۰/۶	۰/۴	نمونه ۳ (HG <sub>c</sub> )
۰/۴۵	۰/۵۵	نمونه ۴ (HG <sub>d</sub> )
۰/۳	۰/۷	نمونه ۵ (HG <sub>e</sub> )
۰/۱۵	۰/۸۵	نمونه ۶ (HG <sub>f</sub> )
۰	۱	نمونه ۷ (HG <sub>g</sub> )

#### بررسی خصوصیات فیلم‌های ترکیبی

##### ضخامت فیلم‌ها

از میکرومتر دیجیتالی برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم‌ها استفاده شد. جهت این امر، ضخامت پنج نقطه‌ی مختلف از هر فیلم مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و مقدار میانگین آنها گزارش گردید (Sabiha-Hanim & Siti-Norsafurah, 2012).

##### نفوذپذیری به بخار آب<sup>۱</sup> (WVP):

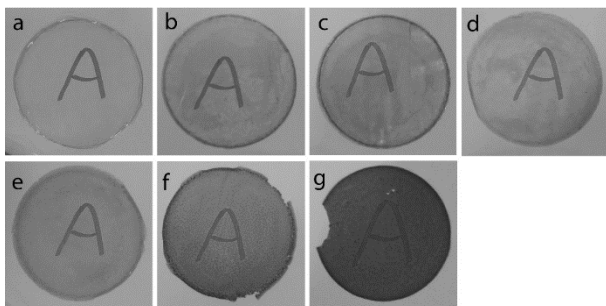
برای اندازه‌گیری نفوذپذیری به بخار آب در فیلم‌های تهیه شده، از روش وزن سنجی بر اساس استاندارد ASTM E96-80 انجام شد (Otoni *et al.*, 2016). فیلم‌ها به دایره‌هایی با قطر ۲/۸ سانتی‌متر بریده شدند. پس از آن با استفاده از میکرومتر دیجیتالی ضخامت آنها در چهار نقطه‌ی متفاوت و مرکز آنها اندازه گرفته شد و میانگین این نقاط به عنوان ضخامت فیلم‌ها بیان گردید. سپس نمونه‌ها بر روی فنجانک‌هایی شیشه‌ای با قطر ۲/۸ سانتی‌متر حاوی ۶ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شده و با استفاده از واشر، گیره و روغن سلیکاژل درزبندی شدند. درون هر فنجانک حاوی آب مقطر، رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد با فشار بخار ۳/۱۶۶۴ کیلوپاسکال در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد

2. Tensile strength  
3. Elongation at break

1. water vapor permeability

### بررسی ظاهری فیلم‌های تهیه شده از نظر شفافیت

فیلم‌های تهیه شده با نسبت‌های مختلف همی‌سلولز-ژلاتین، فیلم‌هایی هموزن، انعطاف پذیر، غیر چسبناک و کشسان بودند. هرچند فیلم شاهد تهیه شده از ژلاتین به‌تنهایی، سخت اما شکننده و فیلم تهیه شده از همی‌سلولز به‌تنهایی نرم و غیر کشسان بود. فیلم ژلاتین خالص ( $HG_a$ ) دارای ظاهری کاملاً شفاف و بی‌رنگ می‌باشد اما فیلم‌های ترکیبی تهیه شده، هم‌راستا با افزایش نسبت همی‌سلولز دارای رنگی تیره‌تر بودند. رنگ تیره‌ی ایجاد شده در فیلم‌های حاوی همی‌سلولز می‌تواند به دلیل وجود بقایای لیگنین موجود در همی‌سلولز استخراجی باشد که به حضور آن در بررسی طیف مادون قرمز همی‌سلولز استخراجی به آن اشاره شد. علاوه بر این واکنش‌های اکسیداتیوی که منجر به تولید ترکیبات رنگی ناشی از لیگنین باشد (Brienzo *et al.*, 2009). تاثیر وجود بقایای لیگنین بر روی رنگ فیلم‌های تهیه شده از همی‌سلولز با مطالعات پیشین همخوانی دارد (Sabiha-Hanim & Siti-Norsafurah, 2012). همچنین این روند با مشاهدات گزارش شده توسط Aadil و همکاران، ۲۰۱۶ هم‌خوانی دارد (Aadil *et al.*, 2016).



شکل ۱- ظاهر فیلم‌های تهیه شده و مقایسه‌ی آنها از نظر شفافیت (a) نمونه‌ی  $HG_a$ ، (b) نمونه‌ی  $HG_b$ ، (c) نمونه‌ی  $HG_c$ ، (d) نمونه‌ی  $HG_d$ ، (e) نمونه‌ی  $HG_e$ ، (f) نمونه‌ی  $HG_f$ ، (g) نمونه‌ی  $HG_g$

### بررسی خصوصیات رنگی

ویژگی رنگ می‌تواند از نظر کاربردهای بالقوه‌ی فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر در بسته‌بندی مواد حساس به نور دارای اهمیت باشد. آنالیز رنگ برای هر هفت نمونه در دمای اتاق انجام گرفت (Sabiha-Hanim & Siti-Norsafurah, 2012). رنگ فیلم  $HG_a$  (فیلم شاهد) از تمامی نمونه‌های فیلم به شکل معنی داری دارای پارامتر L بیشتر بوده (۸۲/۸) و با افزایش نسبت همی‌سلولز در نمونه‌ها رنگ فیلم‌های تولید شده تیره‌تر گردیده و پارامتر L کاهش یافته‌است. تغییر رنگ کلی فیلم‌های تهیه شده هم‌راستا با افزایش میزان همی‌سلولز در ترکیب فیلم با شاخص  $\Delta E$  در جدول ۲ گزارش شده است که نشان می‌دهد

### بررسی مورفولوژی فیلم‌ها

تفاوت در مورفولوژی سطح فیلم‌های تهیه شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل EM-3200) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها قیل از آزمون با لایه‌ای از طلا پوشانده شدند (Goksu *et al.*, 2007).

### آزمون طیف سنجی مادون قرمز

این آزمون با استفاده از دستگاه طیف‌سنج در ناحیه‌ی ۴۰۰۰-۴۰۰ بر سانتی‌متر انجام شد. بدین منظور از مخلوط ۱ میلی‌گرم نمونه و حدود ۱۰۰ میلی‌گرم پتاسیم بروماید دیسک تهیه شد و طیف نمونه به دست آمد (Aadil *et al.*, 2016).

### آنالیز آماری

تمامی آزمون‌های نمونه‌های فیلم به صورت سه بار تکرار انجام شده و نتایج با استفاده از آنالیز یک طرفه‌ی واریانس (ANOVA) از نظر معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ مورد بررسی قرار گرفتند. نرم افزار آماری مورد استفاده SPSS.16 بوده و نتایج به صورت میانگین و انحراف از معیار بیان شدند.

### نتایج و بحث

#### بررسی همی‌سلولز استخراجی از باگاس نیشکر از طریق

#### طیف‌سنجی مادون قرمز

آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز، جهت شناسایی همی‌سلولز به دست آمده از باگاس نیشکر، با استفاده از ناحیه‌ی موسوم به اثر انگشت انجام گردید. در طیف به دست آمده پیک (۷۷۳/۹۶ بر سانتی‌متر) مشاهده شده در ناحیه‌ی آنومری با عدد موج ۹۵۰-۷۰۰ بر سانتی‌متر، می‌تواند بیان‌کننده‌ی پیوند غالب بتاگلیکوزیدی بین واحدهای مونوساکاریدی در همی‌سلولز باشد. همچنین از آنجاکه ناحیه‌ی ۱۲۰۰-۱۰۰۰ (بر سانتی‌متر) در طیف‌سنجی همی‌سلولز مربوط به پیوندهای C-C، C-O، و C-O-C گلیکوزیدی در همی‌سلولز می‌باشد (Sabiha-Hanim & Aziatul-Akma, 2016)، پیک مشاهده شده در ناحیه‌ی ۱۰۴۷ (بر سانتی‌متر)، می‌تواند نشان‌دهنده‌ی حضور غالب زایلان در همی‌سلولز حل‌شونده در محلول‌های قلیایی باشد (Bian *et al.*, 2012). علاوه بر این ناحیه‌ی ۱۲۴۴/۳۴ (بر سانتی‌متر) مربوط به کشش پیوند C-O در زایلان می‌باشد (Pandey & Pitman, 2003). و گروه گلوکورونیک اسید اثری مشخص در ناحیه‌ی ۱۴۱۳/۶۳ و ۱۶۱۴/۳۶ (بر سانتی‌متر)، مربوط به گروه‌های کربونیل، از خود نشان می‌دهند (Buslov *et al.*, 2009). پیک مشاهده شده در ۱۵۰۲/۱۷ بر سانتی‌متر نیز می‌تواند مربوط به کشش پیوند C=C در حلقه‌ی آروماتیک (بقایای لیگنین) باشد (Colom *et al.*, 2003).

می‌شود که با افزایش نسبت همی‌سلولز در فیلم‌های ترکیبی، شاخص شفافیت به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

فیلم  $HG_g$  به شکل معنی‌داری بیشترین میزان رنگ و نمونه‌ی فیلم  $HG_a$  کمترین میزان را داشته است. همچنین با بررسی شاخص شفافیت (WI) فیلم‌های تولیدی (جدول ۲) مشاهده

جدول ۲- مقایسه‌ی ویژگی‌های رنگی فیلم‌های تولید شده (در سطح ۰/۰۵)

فیلم	L	a	b	WI	$\Delta E$
$HG_a$	$82/8 \pm 2/236^a$	$0/37 \pm 0/156^b$	$-0/736 \pm 0/315^e$	$82/781^a$	$10/94^f$
$HG_b$	$81/353 \pm 1/747^{ab}$	$-0/87 \pm 0/034^d$	$10/016 \pm 1/104^{cd}$	$78/787^b$	$16/4532^e$
$HG_c$	$78/676 \pm 0/665^b$	$-0/886 \pm 0/07^d$	$10/906 \pm 0/635^{cd}$	$76/0362^c$	$19/080^d$
$HG_d$	$77/786 \pm 2/624^b$	$-0/563 \pm 0/126^c$	$8/606 \pm 1/662^d$	$76/1707^c$	$18/5138^d$
$HG_e$	$73/146 \pm 2/813^c$	$-0/54 \pm 0/052^c$	$11/816 \pm 1/610^c$	$70/657^d$	$24/1441^c$
$HG_f$	$68/996 \pm 2/564^d$	$0/49 \pm 0/180^b$	$24/716 \pm 1/597^b$	$60/3471^e$	$35/57^b$
$HG_g$	$65/276 \pm 0/650^e$	$1/92 \pm 0/33^a$	$27/02 \pm 0/907^a$	$55/9601^f$	$39/89^a$

طور نتیجه‌گیری کرد که با افزایش نسبت همی‌سلولز در ترکیب فیلم، تراکم شبکه‌ی پروتئینی ژلاتین کمتر شده و در نتیجه آن نفوذپذیرتر می‌شود.

#### بررسی میزان حلالیت در آب

میزان حلالیت در آب نیز به عنوان فاکتوری مهم از ویژگی‌های فیلم‌های زیست تخریب پذیر در نمونه‌های فیلم تهیه شده مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده گردید که میزان حلالیت فیلم  $HG_a$  بسیار بالا و با میزان  $80/19\%$  بوده و با افزودن تنها  $0/25$  گرم همی‌سلولز (فیلم  $HG_b$ ) میزان حلالیت به شکل چشمگیری کاهش یافته و به میزان  $29/995$  درصد می‌رسد. این کاهش در میزان حلالیت می‌تواند در اثر ایجاد پیوند میان همی‌سلولز و ژلاتین باشد. (Pena et al., 2010) بیان کردند که به طور کلی برهمکنش‌های اتصال عرضی یا هیدروژنی با دیگر ترکیبات، جذب آب به وسیله‌ی پروتئین را به علت اینکه گروه‌های قطبی جانبی زنجیره‌ی آن کمتر در معرض پیوند با آب قرار می‌گیرند، کاهش می‌دهد. پس از آن با افزایش نسبت همی‌سلولز موجود در ترکیب فیلم به تدریج حلالیت فیلم‌ها افزایش می‌یابد، که این حلالیت می‌تواند به علت افزایش همی‌سلولز آزاد در محیط باشد. افزایش در میزان حجم آزاد درون سیستم باعث افزایش حرکت حلال و به دنبال آن افزایش توزیع آب در ساختمان فیلم می‌شود. همچنین افزایش میزان رطوبت فیلم‌های دارای همی‌سلولز از فیلم ژلاتینی بیشتر بوده و همین امر افزایش محتوای رطوبت فیلم‌ها می‌تواند سبب افزایش تحرک مولکول‌ها شود. علاوه بر این افزایش محتوای آب می‌تواند نفوذپذیری در فیلم‌ها را نیز تحت تاثیر قرار دهد (Sorbal et al., 2001). Xiao et al. (2001) بیان کردند که با توجه به ساختار شیمیایی،

#### ضخامت فیلم‌ها

ضخامت فیلم‌های تهیه شده در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود ضخامت فیلم‌ها از  $0/115$  میلی‌متر برای فیلم شاهد تا  $0/242$  میلی‌متر برای فیلم تماماً همی‌سلولزی متفاوت است. قابل توجه است که اختلاف ضخامت تنها در فیلم‌های با میزان  $0/85$  همی‌سلولز ( $HG_f$ ) و تماماً همی‌سلولز ( $HG_g$ ) نسبت به دیگر فیلم‌ها معنی‌دار می‌باشد.

#### ویژگی نفوذپذیری به بخار آب

از آنجایی عملکرد اصلی بسته‌بندی مواد غذایی اغلب جلوگیری یا کاهش انتقال رطوبت بین مواد غذایی و محیط اطراف است، نفوذپذیری به بخار آب باید تا جای ممکن پایین باشد (Cuq et al., 1995). نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های مورد استفاده در بسته‌بندی‌های غذایی نقش مهمی در واکنش‌های فسادزای مواد غذایی ایفا می‌کند و از این رو دارای اهمیت است (spotti et al., 2016). نفوذپذیری به بخار آب به عوامل زیادی نظیر یکپارچگی فیلم‌ها، نسبت آب‌دوستی به آب‌گریزی، نسبت بین نواحی کریستالی و آمورف، پویایی زنجیره پلیمری و پیچیدگی ماتریکس فیلم، بستگی دارد (Ruiz et al., 2012). مقایسه‌ی میزان رو به افزایش نفوذپذیری نسبت به بخار آب در فیلم‌های تهیه شده و بررسی سطح معنی‌داری آنها در جدول ۳ بیان شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با بیشتر شدن نسبت همی‌سلولز در ترکیب فیلم‌ها نفوذپذیری به بخار آب افزایش یافته است. کمترین نفوذپذیری به بخار آب برای فیلم  $HG_a$  و بیشترین میزان برای فیلم  $HG_g$  می‌باشد. با توجه به بررسی خصوصیات مکانیکی نمونه‌های فیلم و مشاهده‌ی نقش پلاستی‌سازری همی‌سلولز در غلظت‌های مشخص می‌توان این

نتیجه‌ی اثر نرم‌کنندگی آب جذب شده در فیلم‌ها باشد (Xiao *et al.*, 2001). همچنین (Aadil *et al.*, 2016) و (Pena *et al.*, 2010) پیشنهاد کردند که تغییر در ساختار مارپیچ ژلاتین می‌تواند سبب کاهش ناگهانی در حلالیت فیلم‌های ترکیبی نسبت به فیلم  $HG_a$  باشد.

مخلوط کردن ژلاتین با همی سلولز استخراجی از کنجاک باعث افزایش جذب آب در فیلم‌های ترکیبی می‌شود چراکه گلوکومانان استخراجی دارای گروه‌های هیدروکسیل آب‌دوست زیادی است. این موضوع به نظر می‌رسد بهبود کشش در نقطه‌ی پارگی (EB) را در فیلم‌های ترکیبی توضیح دهد که می‌تواند در

جدول ۳- مقایسه‌ی ویژگی‌های ضخامت (mm)، حلالیت در آب، و ویژگی نفوذ پذیری به بخار آب (WVP) نمونه فیلم‌های تولید شده در سطح ۰.۰۵

ضخامت (mm)	حلالیت در آب (%)	WVP ( $g/msPa \times 10^{-10}$ )	نمونه
$0.115 \pm 0.019^c$	$80.19 \pm 0.127^b$	$2.186 \pm 0.333^d$	نمونه $HG_a$
$0.125 \pm 0.009^c$	$29.995 \pm 0.784^g$	$4.59 \pm 1.14^c$	نمونه $HG_b$
$0.123 \pm 0.018^c$	$39.26 \pm 0.339^f$	$5.46 \pm 0.24^c$	نمونه $HG_c$
$0.127 \pm 0.006^c$	$46.045 \pm 0.346^e$	$5.34 \pm 1.11^c$	نمونه $HG_d$
$0.138 \pm 0.012^c$	$56.43 \pm 0.608^d$	$6.8 \pm 0.173^b$	نمونه $HG_e$
$0.164 \pm 0.019^b$	$73.54 \pm 0.197^c$	$6.89 \pm 0.314^b$	نمونه $HG_f$
$0.242 \pm 0.006^a$	$81.761 \pm 0.369^a$	$9.15 \pm 0.140^a$	نمونه $HG_g$

همی سلولز در ترکیب فیلم‌ها، از تاثیر مثبت همی سلولز در ماتریکس فیلم کاسته شده و به نظر می‌رسد شبکه‌ی پروتئینی رفته رفته متزلزل شده و این امر سبب تضعیف ساختار فیلم و کاهش کشش در نقطه‌ی پارگی می‌گردد. (Nunez-Flores *et al.*, 2013) در مطالعه‌ی بیان کردند که افزودن لیگنین به فیلم‌های ژلاتینی می‌تواند خاصیتی پلاستی‌سایزری ایجاد کند که سبب کاهش در مقاومت کششی (TS) در فیلم‌های ترکیبی و افزایش میزان کشش در نقطه‌ی پارگی (EB) می‌شود. و مشاهده شد که فیلم‌های ترکیبی در نسبتی مشخص به شدت کشسان بودند. این محققان کاهش در میزان مقاومت کششی در فیلم‌های ترکیبی ژلاتین- لیگنین را مرتبط با افزایش میزان فعالیت آبی دانستند. و بیان کردند که به نظر می‌رسد اثر پلاستی‌سایزری مشاهده شده در فیلم‌های ترکیبی نمی‌تواند به تنهایی به دلیل اثر مستقیم لیگنین باشد بلکه می‌تواند در نتیجه‌ی حضور مولکول‌های آب آزاد و در نتیجه کاهش نیروهای جاذبه‌ی بین مولکولی بین زنجیره‌های پلیمر باشد (Nunez-Flores *et al.*, 2013). رابطه‌ی معکوس مشاهده شده بین مقاومت به کشش (TS) و کشش در نقطه‌ی پارگی (EB) با آنچه توسط Cao *et al.* (2007) بیان شد همخوانی دارد که بیان کردند که با افزایش غلظت هر کدام از عوامل پیوند دهنده عرضی در این پژوهش، میزان TS افزایش یافته و در مقابل آن میزان EB کاهش یافته‌است. همچنین داده‌های به دست آمده برای فیلم تماماً همی سلولزی با داده‌های به دست آمده (مقاومت کششی ۴۳-۳۶ مگاپاسکال و درصد کشش در نقطه‌ی پارگی ۲/۵-۲/۱)

### بررسی خصوصیات مکانیکی

بررسی خصوصیات مکانیکی فیلم‌های ترکیبی نشان داد که فیلم ژلاتین خالص ( $HG_a$ ) دارای مقاومت کششی بسیار بالایی نسبت به فیلم‌های ترکیبی بوده که نشان دهنده‌ی تراکم و استحکام بالای شبکه‌ی پروتئینی تشکیل شده می‌باشد. پیوندهای بسیار محکم موجود در ساختار ژلاتین و گروه‌های قطبی آمینواسیدها باعث تولید فیلم شکننده در رطوبت کم با قابلیت جذب رطوبت بالا می‌شود (Pena *et al.*, 2010). در نتیجه‌ی این تراکم بالا و پیوندهای بین زنجیره‌ای بسیار زیاد میان زنجیره‌های پروتئینی، قابلیت کشش این فیلم بسیار پایین بود. از سوی دیگر فیلم تماماً همی سلولزی ( $HG_g$ ) نیز مقاومت کششی پایین تری نسبت به فیلم  $HG_a$  داشت که نشان دهنده‌ی استحکام پایین شبکه‌ی تشکیل شده بود. هرچند این فیلم نیز قابلیت کشسانی مناسبی از خود نشان نداده و به سادگی پاره گردید. در این آزمون آنچه قابل توجه است تاثیر چشم‌گیر اندک همی سلولز افزوده شده در فیلم  $HG_b$  می‌باشد که در اثر آن مقاومت کششی (TS) به طور ناگهانی کاهش یافته و در مقابل میزان کشش در نقطه‌ی پارگی بسیار بالا و قابل توجه است. اینطور به نظر می‌رسد که افزودن میزان مشخصی همی سلولز به محلول فیلم ژلاتینی می‌تواند حالتی از نرم‌کنندگی ایجاد کند. از این داده‌ها می‌توان اینگونه استنباط کرد که با افزودن میزان مشخصی از همی سلولز به ماتریکس فیلم، از تراکم بسیار بالای شبکه‌ی پروتئینی کاسته شده و امکان تحرک زنجیره‌ها فراهم می‌شود. از سوی دیگر همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود با افزایش نسبت

۱۵۲۳/۵۶ مربوط به امید نوع دوم کاسته شده و شدت پیک ۱۲۳۶/۸۳ مربوط به امید نوع سوم افزایش یافته است. همچنین با افزایش میزان همی سلولز در فیلم‌های ترکیبی پیک ۳۲۷۰/۳۹ به طول موج‌های بالاتر (۳۲۷۶/۳۵) و پیک ۱۶۲۹/۲۵ و ۱۵۲۳/۵۶ مربوط به ژلاتین به ترتیب به طول موج‌های پایین‌تر (۱۶۲۶/۴۹) و (۱۵۲۰/۴۵) تغییر موقعیت می‌دهند. همچنین پیک ۲۹۲۳/۸۳ به طول موج بالاتر (۲۹۲۹/۶۵) و پیک ۲۸۷۲/۵۶ به طول موج پایین‌تر (۲۸۶۲/۶۵) منتقل شده و به شدت هر دوی این پیک‌ها که مربوط به کشش CH می‌باشند، افزوده می‌شود. و با افزایش میزان بالای همی سلولز، پیک ۱۷۲۵/۹۱ و همچنین پیک ۱۱۶۸/۹۲ (ناحیه ی ۱۲۰۰-۱۰۰۰ در طیف سنجی همی سلولز مربوط به پیوندهای C-C، C-O و C-O-C گلیکوزیدی) مربوط به همی سلولز در طیف ظاهر می‌شود در حالیکه در فیلم‌های ترکیبی با میزان پایین‌تر همی سلولز این پیک در طیف قابل مشاهده نمی‌باشد. تمامی این تغییرات ایجاد شده در طیف شواهدی از برهم‌کنش‌های به‌وجود آمده‌ی بین مولکولی بین دو پلیمر را نشان می‌دهد (Rosellini et al., 2009). همچنین پیک مشاهده شده در محدوده‌ی ۱۰۳۱/۱۰ می‌تواند مربوط به اتصال برقرار شده بین پلاستی سایزر (پیوند CO در گلیسرول) و ساختار فیلم می‌باشد که با افزایش میزان همی سلولز از شدت بیشتری برخوردار می‌شود و همچنین به موقعیت بالاتر (۱۰۳۸/۸۴) تغییر مکان می‌دهد که می‌تواند در ارتباط با ویژگی پلاستی‌سایزری همی سلولز و پیوند برقرار شده بین آنها باشد (Nunez-Flores et al., 2013).

#### بررسی مورفولوژی فیلم‌ها

مورفولوژی سطح فیلم‌ها با استفاده از SEM مورد ارزیابی قرار گرفت. مورفولوژی فیلم ژلاتین و فیلم‌های ترکیبی در شکل نشان داده شده است. فیلم ژلاتین خالص ریزساختاری یکنواخت از خود نشان می‌دهد که منجر به تشکیل فیلمی هموزن و متراکم از فیبرهای ژلاتینی می‌باشد. با افزودن همی سلولز و افزایش میزان همی سلولز سطح فیلم‌های ترکیبی تغییر کرده و به علت جداسازی فاز، حالتی ناصاف پیدا می‌کند. که با یافته‌های مشاهده شده توسط Xiao و همکاران، ۲۰۰۱ در مورد مورفولوژی سطح فیلم‌های ترکیبی نسبت به فیلم‌های خالص همخوانی داشت (Xiao, Lu & Liu et al., 2001). همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت همی سلولز سطح فیلم‌های ترکیبی تهیه شده ناصاف تر می‌شود. ناهمواری سطح مشاهده شده در فیلم‌ها با مطالعات انجام شده توسط (2007) Goksu et al., مطابقت داشت.

درصد در مطالعه‌ی انجام شده توسط Shimokawa et al., (2015) برای فیلم همی سلولزی همخوانی دارد.

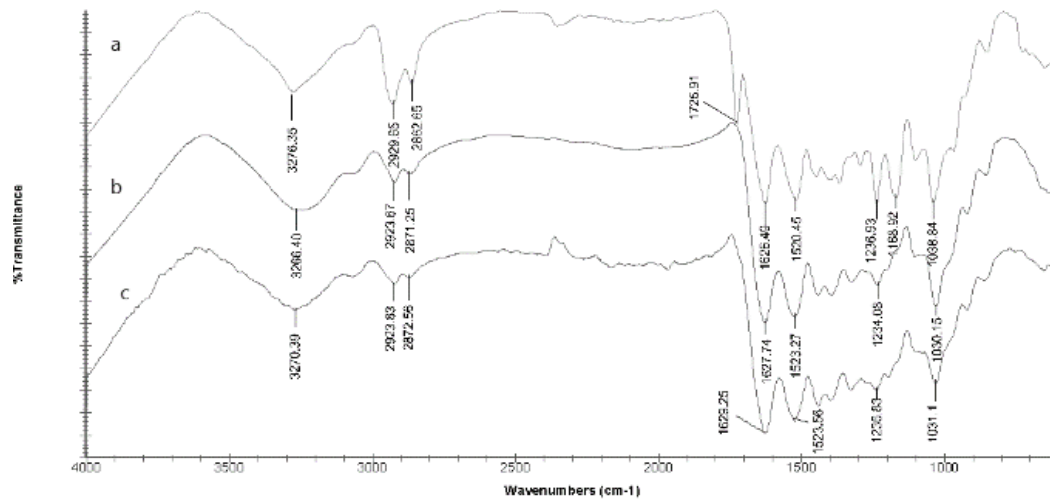
جدول ۴- مقایسه مقاومت کششی (MPa) و کشیدگی در نقطه ی پارگی (%) فیلم های تهیه شده در سطح ۰/۰۵

EB (%)	TS (MPa)	
۵/۶۲۲ ± ۰/۱ <sup>f</sup>	۵۲۴/۵۴۴ ± ۱/۰ <sup>a</sup>	نمونه HG <sub>a</sub>
۲۰۳/۸۵ ± ۰/۱۶۴ <sup>a</sup>	۱/۸۳ ± ۰/۰۷۸ <sup>e</sup>	نمونه HG <sub>b</sub>
۱۵۱/۸۴ ± ۰/۱ <sup>b</sup>	۲/۳۵ ± ۰/۰۴۲ <sup>e</sup>	نمونه HG <sub>c</sub>
۸۵/۵۶۷ ± ۰/۱ <sup>c</sup>	۳/۲۶ ± ۰/۰۳۲ <sup>d</sup>	نمونه HG <sub>d</sub>
۶۸/۶۹۲ ± ۰/۱ <sup>d</sup>	۳/۱۷ ± ۰/۰۷۵ <sup>d</sup>	نمونه HG <sub>e</sub>
۱۹/۶۵۱ ± ۰/۰۵۷ <sup>e</sup>	۶/۲۷ ± ۰/۰۴۷ <sup>c</sup>	نمونه HG <sub>f</sub>
۲/۵۸۵ ± ۰/۱ <sup>g</sup>	۳۴/۲۶ ± ۰/۱۵۱ <sup>b</sup>	نمونه HG <sub>g</sub>

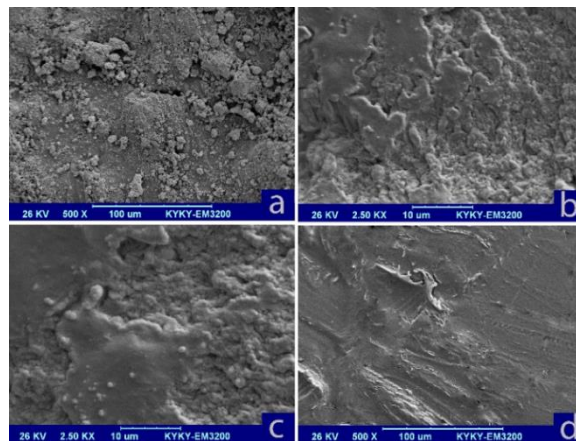
#### آزمون طیف سنجی مادون قرمز

بررسی طیف مادون قرمز جهت ارزیابی حضور پیک‌های معمول در پلیمرهای خالص و تغییر مکانی آنها به طول موج‌های بالاتر یا پایین‌تر به علت ایجاد اتصالات بین گروه‌های عاملی پلیمرهای خالص انجام می‌گردد (Rosellini et al., 2009) اهمیت آزمون FTIR در مطالعه‌ی ساختار مولکول است. عرض و قدرت نوارهای جذب موجود در طیف و همچنین موقعیت پیک، همه به تغییرات محیط و ترکیب ماکرومولکول‌ها در سطح مولکولی وابسته هستند. اتصالات بین مولکولی زمانی اتفاق می‌افتد که پلی‌مرهای مختلف با یکدیگر سازگار هستند و از همین رو طیف FTIR به دست آمده از فیلم‌های ترکیبی از طیف فیلم خالص متفاوت است. که این امر برای مطالعه‌ی میزان سازگاری پلیمرها حائز اهمیت است (Xiao, Lu & Gao et al., 2001). در این پژوهش طیف FTIR نمونه‌ها در محدوده‌ی طول موج ۴۰۰-۴۰۰۰ به دست آمد. پیک‌های مربوط به آمیدهای نوع اول تا پنجم، پیک‌هایی حساس و قابل ترکیب در پلی‌پیتیدها و پروتئین هستند. طیف FTIR فیلم ژلاتین خالص (HG<sub>a</sub>) پیک‌های قوی‌ای در محدوده‌ی ۳۲۰۰-۳۵۰۰ نشان می‌دهد که می‌تواند مربوط به کشش پیوند NH باشد، پیک پهن ۳۲۷۰/۳۹ مشاهده شده در این طیف از این جمله می‌باشد. پیک ۱۶۲۹/۲۵ نشان‌دهنده‌ی کشش CO در امید نوع اول، پیک ۱۵۲۳/۵۶ مربوط به اینتراکشن بین NH و CN در گروه CNH و همچنین پیک ضعیف‌تر ۱۲۳۶/۸۳ مربوط به اینتراکشن بین NH و CN مشاهده می‌شود، که مربوط به آمیدهای نوع ۲ می‌باشد. و جذب ۶۵۰/۴۷ مربوط به امید نوع پنجم، تنش CN و NH است (Silverstein et al., 2005). با افزودن همی سلولز در فیلم‌های ترکیبی به ژلاتین، شدت قدرت پیک ۳۲۷۰/۳۹ اندکی دچار تغییر شد. و از شدت پیک‌های ۱۶۲۹/۲۵ مربوط به امید نوع اول،





شکل ۲- مقایسه ی طیف های FTIR به دست آمده برای (a) نمونه ی فیلم (همی سلولز (۰/۷۵) + ژلاتین (۰/۲۵) + گلیسرول)، (b) نمونه ی فیلم (همی سلولز (۰/۲۵) + ژلاتین (۰/۷۵) + گلیسرول) و (c) نمونه ی فیلم (ژلاتین + گلیسرول)



شکل ۳- نمونه ی (a) نمونه فیلم تهیه شده از (همی سلولز + گلیسرول)، نمونه ی (b) نمونه فیلم تهیه شده از (همی سلولز (۰/۷) + ژلاتین (۰/۳) + گلیسرول)، نمونه ی (c) نمونه فیلم تهیه شده از (همی سلولز (۰/۲۵) + ژلاتین (۰/۷۵) + گلیسرول)، نمونه ی (d) نمونه فیلم تهیه شده از (ژلاتین + گلیسرول)

در ابتدا به نفع کاهش حلالیت، بهبود کشسانی و خصوصیات مکانیکی فیلم بوده اما رفته رفته با سست شدن بیش از حد شبکه، بافت فیلم رو به تخریب و گسیختگی می‌گذارد. بهترین نسبت همی‌سلولز در فیلم  $HG_b$  (نسبت ۰/۲۵) مشاهده می‌شود که دارای کمترین رنگ، کمترین نفوذپذیری به بخار آب، کمترین حلالیت و بیشترین کشسانی را در میان فیلم‌های ترکیبی دیگر می‌باشد.

### سپاسگزاری

بدینوسیله نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بابت حمایت مالی انجام این پژوهش، که مقاله حاضر بخشی از نتایج آن بود، تقدیر و قدردانی می‌نمایند.

### نتیجه‌گیری کلی

با بررسی نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، مشاهده شد که با افزایش میزان همی‌سلولز در فیلم‌های ترکیبی ضخامت فیلم‌ها، نفوذ پذیری به بخار آب و تیرگی رنگ رو به افزایش می‌گذارد. اما از سوی دیگر بررسی داده‌ها نمایان کرد که با افزودن تنها گرم ۰/۲۵ همی‌سلولز در فیلم  $HG_b$  تغییرات یکباره‌ای نظیر کاهش چشم‌گیر در حلالیت فیلم و مقاومت کششی و همچنین افزایش یکباره در میزان کشش در نقطه‌ی پارگی مشاهده می‌شود. و پس از آن بار دیگر با افزایش نسبت میزان همی‌سلولز در فیلم‌های ترکیبی حلالیت و مقاومت کششی آنها رو به افزایش و درصد میزان کشش در نقطه‌ی پارگی رو به کاهش می‌گذارد. بررسی این داده‌ها نشان می‌دهد که با افزایش همی‌سلولز در ترکیب‌ها از شدت و تراکم شبکه‌ی پروتئینی تشکیل شده توسط ژلاتین کاسته می‌شود که این کاهش تراکم

## REFERENCES

- Aadil, K. R., Barapatre, A. & Jha, H. (2016). Synthesis and characterization of Acacia lignin-gelatin film for its possible application in food packaging. *Bioresources and Bioprocessing*, 3(1), 27.
- Acosta, S., Chiralt, A., Santamarina, P., Rosello, J., Gonzalez-Martinez, C. & Chafer, M. (2016). Antifungal films based on starch-gelatin blend, containing essential oils. *Food hydrocolloids*, 61, 233-240.
- ASTM., 2002, Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting, D882, Annual book of ASTM standards designation, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.
- Bian, J., Peng, F., Peng, X. P., Xu F., Sun, R.C., & Kennesy J.F. (2012). Isolation of hemicellulose from sugarcane bagasse at different temperatures: structure and properties. *Carbohydrate polymers*, 88(2), 638-645.
- Brienzo, M., Siqueira, A.F. & Milagres A.M.F. (2009). Search for optimum conditions of sugarcane bagasse hemicellulose extraction. *Biochemical Engineering Journal*, 46(2), 199-204.
- Buslov, D.K., Kaputski, F.N., Sushko, N.I., Torgashev, V.I., Soloveva, L.V., Tsarenkov, V.M., Zubets, O.V. & Larchenko, L.V. (2009). Infrared spectroscopic analysis of the structure of xylans. *Journal of applied spectroscopy*, 76(6), 801-805.
- Cao, N., Yang, X. & Fu, Y. (2009) Food Hydrocolloids Effects of various plasticizers on mechanical and water vapor barrier properties of gelatin films. *Food Hydrocolloids*, 23, 729-735.
- Cao, N., Fu, Y. & He, J. (2007). Mechanical properties of gelatin films cross-linked, respectively, by ferulic acid and tannin acid. *Food Hydrocolloids*, 21(4), 575-584.
- Colom, X., Carrillo, F., Nogues, F. & Garriga, P. (2003). Structural analysis of photodegraded wood by means of FTIR spectroscopy. Polymer degradation and stability, 80, 543-549.
- Cuq, B., Gontard, N. & Guilbert, S. (1995). Edible films and coatings as active layers. In Active food packaging (pp. 111-142). Springer US.
- Denavi, G.A., Perez-Mateos, M., Anon, M.C. Montero, P., Mauri A.N. & Gomez-Guillen, M.C. (2009). Food Hydrocolloids Structural and functional properties of soy protein isolate and cod gelatin blend films. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2094-2101.
- Fang, J.M., Sun, R.C. & Tomkinson, J. (2000). Isolation and characterization of hemicelluloses and cellulose from rye straw by alkaline peroxide extraction. *Cellulose*. 7(1), 87-107.
- Goksu, E. I., Karamanlioglu, M., Bakir, U., Yilmaz, L. & Yilmazer, U. (2007). production and characterization of films from cotton stalk xylan. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(26), 10685-10691.
- Liu, K. X., Li, H.Q., Zhang, J., Zhang, Z.G. & Xu, J. (2016). The effect of non-structural components and lignin on hemicellulose extraction. *Bioresource Technology*, 214, 755-760.
- Nunez-Flores, R., Gimenez, B., Fernandez-Martin F., Lopez-Caballero, M.E., montero, M.P. & Gomez-Guillen. (2013). Physical and functional characterization of active fish gelatin films incorporated with lignin. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 163-172.
- Otoni, C. G., Avena-Bustillos R.J., Olsen C.W., Bilbao-Sainz, C. & Mchugh, T.H. (2016). Mechanical and water barrier properties of isolated soy protein composite edible films as affected by carvacrol and cinnamaldehyde micro and nanoemulsions. *Food Hydrocolloids*, 57, 72-79.
- Pandey, K.K. & Pitman, A.J. (2003). FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 52(3), 151-160.
- Pena, C., De la caba, K.O.R.O, Eceiza, A., Ruseckaite, R. & Mondragon, I. (2010). Enhancing water repellence and mechanical properties of gelatin films by tannin addition. *Bioresource Technology*, 101(17). 6836-6842.
- Rosellini, E., Cristallini, C., Barbani, N., Vozzi, G. & Giusti, P. (2009). Preparation and characterization of alginate/gelatin blend films for cardiac tissue engineering. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 91(2), 447-453.
- Ruiz, H.A., Cerqueira, M.A., Silva, H.D., Rodriguez-Jasso, R.M., Vicente, A.A. & Teixeira, J.A. (2012). Bio refinery Valorization of auto hydrolysis wheat straw hemicellulose to be applied in a polymer-blend film. *Carbohydrate polymers*, 92(2), 2154-2162.
- Sabiha-Hanim, S. & Aziatul-Akma, A. (2016). Polymer characterization of cellulose and hemicellulose. In A. Mendez-Vilas & A. Solano-Martin (eds.), Polymer science: research advances, practical applications and educational aspects (pp. 404-411), Formatex Research Center.
- Sabiha-Hanim, S. & Siti-Norsafurah, A. (2012). Physical properties of hemicellulose films from sugarcane bagasse. *Procedia Engineering*, 42, 1390-1395.
- Shimokawa, T., Togawa, E., Kakegawa, K., Kato, A. & Hayashi, N. (2015). Film formation and some structural features of hemicellulose fractions from Pinus densiflora leaves. *Journal of wood Science*, 61(1), 53-59.
- Silverstein, R. M., Webster, F. X., Kiemle D. J. & Bryce, D.L. (2005). Spectrometric identification of organic compounds. John Wiley & sons.
- Sorbal, P.D.A., Menegalli, F.C., Hubinger, M.D. & Roques, M.A. (2001). Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based

- edible film. *Food hydrocolloids*, 15(4), 423-432.
- Spotti, M.L., Cecchini, J.P., Spotti, M.J. & Carrara, C.R. (2016). Brea Gum ( from *Cercidium praecox* ) as a structural support for emulsion-based edible films. *LWT - Food Science and Technology*, 68,127-134.
- Sun, X.F., Fowler, P., Rajaratnam, M. & Zhang, G., (2010). Extraction and characterisation of hemicelluloses from maize stem. *Phytochemical Analysis*, 21(5), 406-415.
- Xiao, C., Lu, Y., Gao, S. & Zhang, L. (2001). Characterization of Konjac Glucomannan – Gelatin. *Journal of Applied polymer science*, 79(9),1596-1602.
- Xiao, C., Lu, Y., Liu, H. & Zhang, L. (2001). Preparation and characterization of Konjac Glucomannan and sodium carboxy methylcellulose blend films. *Journal of applied polymer science*, 80(1), 26-31.
- Xu, F., Sun, J.X., Liu, C.F. & Sun, R.C. (2006). Comparative study of alkali- and acidic organic solvent-soluble hemicellulosic polysaccharides from sugarcane bagasse. *Carbohydrate Research*, 341(2),253-261.