

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد صنایع غذایی

بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر، حاوی اسانس آویشن به دو روش امولسیون پایدار شده با ذرات زئین، کیتوزان و امولسیفایر توئین ۸۰

نگارش: حانیه نیکبخت

اساتید راهنما

دکتر احمد رجایی

دکتر محمدهادی موحدنژاد

اردیبهشت ۱۴۰۰

۱۱۴

تاریخ: ۱۴۰۱/۲/۲

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم حانیه نیک بخت با شماره دانشجویی ۹۸۱۲۷۸۴ رشته مهندسی علوم و صنایع غذایی گرایش فناوری مواد تحت عنوان بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر، حاوی اسانس آویشن به دو روش امولسیون پایدار شده با ذرات زئین، کیتوزان و امولسیفایر توئین ۸۰

که در تاریخ ۱۴۰۰/۲/۱۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☒ الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰	☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۹
☐ ج) درجه خوب: نمره ۱۷-۱۶	☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵-۱۴
☐ ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد	
نوع تحقیق: ☐ نظری ☒ عملی	

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر احمد رجایی	استادیار	
۲- استاد راهنما دوم	دکتر محمد هادی موحد نژاد	استادیار	
۳- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر حسن خوش قلب	استادیار	
۴- استاد ممتحن اول	دکتر کامبیز جهان بین	دانشیار	
۵- استاد ممتحن دوم	دکتر حمید رضا صمد لویی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر علی درخشان سلفمیری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تصوه: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



تقدیم به ستاره‌های آسمان زندگی‌ام

پدر بزرگوarm اسوه باشکوه تلاش و بزرگواری، پاسخی به زحمات بی‌دریغش و
بوسه‌ای بر دستان پرتوانش، آن کوه بردباری که دانشم مدیون هستی اوست

مادر مهربانم که وجودم همه برای اوست، الگوی صبر و ایثار که در تمام مراحل
زندگی یار و مددکارم بوده است، آن نادر وجود که هر چه دارم مدیون گذشت و

بزرگواری اوست

خواهران عزیزم که فروغ نگاهشان و گرمی کلامشان سرمایه جاودانگی زندگی من
است

تقدیم به تمام کسانی که دوستشان دارم

تقدیر و تشکر از:

اساتید گران قدر، مهربانم جناب آقایان دکتر احمد رجایی و دکتر محمدهادی
موحدنژاد دارم که در پیشبرد مراحل این پایان نامه راهنما و یاری دهنده ام بوده اند.

از اساتید فرزانه و دلسوزم، جناب آقای دکتر کامبیز جهانبین و دکتر حمیدرضا
صمدلویی که نه فقط در درس و قلم، بلکه استاد سطر به سطر زندگی ام بوده اند و زحمت
داوری این پایان نامه را متقبل شدند، بی نهایت تشکر و قدردانی می کنم.

از ناظر تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر حسن خوش قلب به پاس حضور در این
جلسه تشکر و قدردانی می کنم.

تعهدنامه

اینجانب حانیه نیکبخت دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع غذایی گرایش فناوری مواد غذایی دانشکده مهندسی کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر، حاوی اسانس آویشن به دو روش امولسیون پایدار شده با ذرات زئین، کیتوزان و امولسیفایر توئین ۸۰ تحت راهنمایی دکتر احمد رجایی و دکتر محمدهادی موحد نژاد متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

امضای دانشجو

تاریخ

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در چند سال اخیر استفاده از فیلم‌های خوراکی به جای مواد پلاستیکی مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. این فیلم‌ها به دلیل زیست‌تخریب‌پذیر بودنشان کمک بسیار زیادی به محیط‌زیست کرده‌اند. در این پژوهش فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون اسانس آویشن که با سه روش تولید (تغلیظ کننده تحت خلأ همراه با آن، خشک‌کن پاششی نانو و توئین ۸۰) شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مربوط به بررسی مورفولوژی ذرات کیتوزان-ژئین ذرت (تولید شده با دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ و خشک‌کن پاششی نانو) با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد که پودر حاصله از خشک‌کن پاششی نانو در بعضی از نقاط دارای حالت کلوخگی و تجمع ذرات می‌باشد اما نتایج SEM مربوط به پودر حاصله از تغلیظ کننده تحت خلأ دارای ساختاری همگن‌تری بود. نتایج اندازه‌گیری ذرات نشان داد که بیشترین اندازه ذرات مربوط به امولسیون تولید شده با استفاده از دستگاه خشک‌کن پاششی نانو بود. نتایج نشان داد که امولسیون‌های به دست آمده در گستره وسیعی از سرعت برش، همانند یک سیال نیوتنی رفتار می‌کند. نتایج میزان آب‌دوستی نمونه‌ها (با روش زاویه تماس آب) نشان داد که فیلم ترکیبی پکتین و پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون آویشن آب‌دوست‌تر بود. یافته‌های حاصل از بررسی ساختار فیلم و میزان پراکندگی ذرات در سطح فیلم‌ها نشان داد که با اضافه نمودن امولسیون آویشن حاصله از توئین ۸۰ میزان زبری و خشنی نمونه فیلم کاهش داد. نتایج حاکی از آن بود که با افزودن امولسیون آویشن به فیلم‌های خوراکی که بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر، میزان نفوذپذیری به بخار آب به‌طور چشمگیری کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد با اضافه نمودن امولسیون آویشن حاصله از تغلیظ کننده تحت خلأ و خشک‌کن میزان انحلال‌پذیری نیز افزایش ولی با افزودن امولسیون آویشن حاصله از توئین ۸۰ میزان انحلال‌پذیری کاهش یافت. اضافه نمودن امولسیون آویشن حاصله از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ و خشک‌کن پاششی نانو سبب کاهش میزان نفوذپذیری فیلم‌ها به نور شد. نتایج مربوط به رنگ‌سنجی نمونه‌ها نشان داد که میزان روشنایی با افزودن امولسیون آویشن تولید شده از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ و خشک‌کن پاششی نانو، افزایش یافت اما با افزودن امولسیون آویشن به دست آمده از توئین ۸۰، میزان روشنایی را کاهش داد. نتایج مربوط به پارامتر a^* از تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های پودر خشک‌کن و تغلیظ کننده تحت خلأ با نمونه شاهد حاکی بود ولی میان نمونه توئین ۸۰ با نمونه شاهد هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. نتایج شاخص b^* نشان داد که تمامی نمونه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند.

کلید واژه‌ها: فیلم خوراکی، پروتئین آب‌پنیر، خواص مکانیکی، امولسیون.

فهرست مطالب

فصل اول : کلیات	۱
۱-۱ تعریف بسته‌بندی	۲
۱-۱-۱-اهداف اصلی بسته‌بندی	۲
۲-۱ بسته‌بندی‌های فعال در صنایع غذایی	۳
۱-۲-۱ بسته‌بندی‌های فعال	۳
۲-۲-۱ بسته‌بندی هوشمند	۳
۳-۱ خصوصیات و ویژگی‌های مواد اولیه بسته‌بندی	۴
۴-۱ بسته‌بندی از دیدگاه محیط‌زیست	۴
۵-۱ فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی	۵
۱-۵-۱ تاریخچه	۵
۲-۵-۱ فیلم و پوشش‌های خوراکی	۵
۳-۵-۱ خوراکی بودن و تجزیه‌پذیری فیلم‌های زیستی	۶
۴-۵-۱ مزایای به‌کارگیری فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی	۶
۵-۵-۱ ویژگی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی	۶
۶-۱ انواع فیلم‌های خوراکی	۷
۷-۱ بهبوددهنده‌ها در فیلم‌های خوراکی	۸
۱-۷-۱-پلاستی‌سایزر (نرم‌کننده‌ها):	۸
۲-۷-۱-فیلم‌های و پوشش‌های خوراکی و حاوی مواد ضد میکروب:	۸
۷-۱-استفاده از پکتین در تولید فیلم‌های خوراکی	۹
۸-۱-پروتئین آب‌پنیر و خصوصیات آن	۹
۱-۸-۱-ویژگی‌های شیمیایی پروتئین‌های آب‌پنیر	۱۰
۹-۱-زئین ذرت	۱۱
۱-۹-۱-ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زئین ذرت	۱۱
۱-۱-۹-۱-ویژگی‌های فیزیکی زئین ذرت	۱۱
۲-۱-۹-۱-ویژگی‌های شیمیایی زئین ذرت	۱۲
۱۰-۱-اسانس‌های گیاهی	۱۲
۱۱-۱-آویشن	۱۲

۱۳	۱۲-۱- کیتوزان
۱۴	فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های پیشین
۱۵	۱-۲- فیلم‌ها و پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر
۱۵	۱-۱-۲- مروری بر سوابق مطالعاتی در مورد تولید فیلم‌های پلی ساکاریدی
۱۷	۲-۱-۲- مروری بر سوابق مطالعاتی در مورد فیلم‌های پروتئینی
۲۲	فصل سوم: مواد و روش‌ها
۲۳	۲-۳- مواد مورد استفاده
۲۳	۱-۲-۳- تجهیزات مورد استفاده
۲۳	۲-۲-۳- روش‌های مورد استفاده
۲۳	۱-۲-۲-۳- آزمون‌های قبل از تهیه فیلم
۲۳	۱-۱-۲-۲-۳- خالص‌سازی ژئین
۲۴	۲-۱-۲-۲-۳- تولید پودر کیتوزان- ژئین ذرت به روش پاششی
۲۵	۳-۱-۲-۲-۳- تولید پودر کیتوزان- ژئین ذرت به روش تغلیظ کننده تحت خلأ
۲۶	۴-۱-۲-۲-۳- بررسی اندازه و مورفولوژی ذرات تولید شده با استفاده از دستگاه SEM
۲۶	۵-۱-۲-۲-۳- تهیه امولسیون اسانس آویشن
۲۶	۱-۵-۱-۲-۲-۳- تهیه امولسیون اسانس آویشن با استفاده از پودر کیتوزان-ژئین حاصله از خشک‌کن پاششی نانو
۲۶	۳-۵-۱-۲-۲-۳- تهیه امولسیون اسانس با توئین ۸۰
۲۷	۶-۱-۲-۲-۳- اندازه‌گیری ذرات امولسیون با کمک DLS
۲۷	۷-۱-۲-۲-۳- آزمون‌های رئولوژی امولسیون
۲۷	۳-۲-۳- تهیه فیلم‌های خوراکی
۲۷	۱-۳-۲-۳- تهیه فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر
۲۷	۲-۳-۲-۳- تهیه فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر به همراه امولسیون اسانس آویشن
۲۸	به‌دست‌آمده از خشک‌کن پاششی نانو
۲۸	۳-۳-۲-۳- تهیه فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر به همراه امولسیون اسانس آویشن
۲۸	به‌دست‌آمده از تغلیظ کننده تحت خلأ همراه با آون

۳-۲-۴-تهیه فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر به همراه امولسیون اسانس آویشن	۲۹
به دست آمده از توئین ۸۰.....	۲۹
۳-۲-۴-آزمون های بعد از تهیه فیلم	۲۹
۳-۲-۴-۱-اندازه گیری میزان آب دوستی به روش زاویه تماس آب	۲۹
۳-۲-۴-۲-بررسی ساختار فیلم تهیه شده و چگونگی پراکندگی ذرات در سطح فیلم ها با SEM.....	۳۰
۳-۲-۴-۳-تعیین خواص مکانیکی فیلم تهیه شده	۳۱
۳-۲-۴-۴-بررسی نفوذپذیری فیلم نسبت به بخار آب	۳۱
۳-۲-۴-۵-اندازه گیری میزان انحلال پذیری و رطوبت فیلم های تولیدی	۳۲
۳-۲-۴-۶-اندازه گیری میزان رنگ فیلم های تولیدی	۳۳
۳-۲-۴-۷-میزان نفوذپذیری نور در فیلم های خوراکی.....	۳۳
۳-۳-تجزیه و تحلیل آماری	۳۳
فصل چهارم نتایج و بحث	۳۴
۴-۱-بررسی مورفولوژی ذرات تولید شده با استفاده از دستگاه SEM.....	۳۵
۴-۲-نتایج اندازه گیری ذرات امولسیون با کمک DLS	۳۹
۴-۳-نتایج آزمون های رئولوژی امولسیون	۴۲
۴-۴-نتایج اندازه گیری میزان آب دوستی به روش زاویه تماس آب	۴۴
۴-۵-نتایج بررسی ساختار فیلم تهیه شده و چگونگی پراکندگی ذرات در سطح فیلم ها با SEM.....	۴۵
۴-۶-نتایج بررسی نفوذپذیری فیلم نسبت به بخار آب	۵۱
۴-۷-نتایج اندازه گیری میزان انحلال پذیری فیلم های تولیدی	۵۳
۴-۸-نتایج بررسی نفوذپذیری فیلم نسبت به نور	۵۵
۴-۹-مطالعات رنگ سنجی فیلم های تولید شده	۵۶
۴-۱۰-نتایج بررسی خواص مکانیکی	۵۹
۴-۱۱-نتایج رطوبت فیلم های خوراکی	۶۲
۴-۱۲-نتیجه گیری.....	۶۳
۴-۱۳-پیشنهادهات	۶۵

فهرست جداول

- جدول (۱-۴) عناصر تشکیل دهنده پودرهای حاصله از خشک کن پاششی نانو و تغلیظ کننده تحت خلأ ۳۸
- جدل (۲-۴) عناصر تشکیل دهنده فیلم‌های خوراکی حاوی امولسیون آویشن ۵۱

فهرست اشکال

- شکل (۱-۳): شماتیک دستگاه خشک کن نانو ۲۵
- شکل (۲-۳): شماتیک نحوی اندازه گیری زاویه تماس ۳۰
- شکل (۳-۳): دستگاه SEM ۳۱
- شکل (۱-۴): زئین خالص ۳۷
- شکل (۲-۴): تصویر سطح مقطع میکروسکوپ الکترونی روبشی ذرات کیتوزان و زئین ذرت تولیدشده با استفاده از دستگاه خشک کن پاششی نانو و دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ همراه با آون ۳۷
- شکل (۳-۴): نمودار عناصر تشکیل دهنده ذرات کیتوزان و زئین ذرت تولیدشده با استفاده از دستگاه خشک کن پاششی نانو و دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ همراه با آون ۳۸
- شکل (۴-۴): سمت چپ: امولسیون تولید شده با استفاده از پودر به دست آمده پاششی، وسط: امولسیون تولید شده با استفاده از پودر به دست آمده تغلیظ کننده تحت خلأ، سمت راست: امولسیون تولید شده با استفاده از توئین ۸۰ ۴۱
- شکل (۵-۴): فیلمهای خوراکی تولید شده بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر: نمونه شاهد (a)، نمونه تولید شده به همراه اسانس آویشن به شکل امولسیون پایدار شده با ذرات زئین-کیتوزان به دست آمده از خشک کن پاششی نانو (b)، نمونه تولید شده به همراه اسانس آویشن به شکل امولسیون پایدار شده با ذرات زئین-کیتوزان به دست آمده از تغلیظ کننده تحت خلأ (c)، نمونه تولید شده به همراه اسانس آویشن به شکل امولسیون پایدار شده با توئین ۸۰ (d) ۴۸
- شکل (۶-۴): تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM)، نمونه های فیلم های خوراکی پکتین و پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون آویشن به دست آمده از آویشن به دست آمده از ذرات زئین-کیتوزان و توئین ۸۰ ۴۹
- شکل (۷-۴): تصاویر ضخامت نمونه های فیلم های خوراکی پکتین و پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون آویشن به دست آمده از ذرات زئین-کیتوزان و توئین ۸۰ با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) ۵۰

فهرست نمودار

نمودار (۱-۴): تأثیر نوع امولسیون بر پراکندگی ذرات (اندازه ذرات (الف)، D10 Volume (ب)، D50 Volume (پ)، D90 Volume (ت)).....	۴۲
نمودار (۲-۴): رابطه تنش برشی - سرعت برشی بر امولسیون‌های تولیدی به‌دست‌آمده از توئین ۸۰، تغلیظ‌کننده تحت خلأ و دستگاه خشک‌کن پاششی نانو.....	۴۳
نمودار (۳-۴): نمودار زاویه تماس نمونه‌های فیلم‌های خوراکی پکتین و پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از ذرات زئین- کیتوزان و توئین ۸۰.....	۴۵
نمودار (۴-۴): میزان نفوذپذیری فیلم‌های خوراکی تولیدشده بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از دستگاه تغلیظ‌کننده تحت خلأ، خشک‌کن پاششی نانو و توئین ۸۰.....	۵۳
نمودار (۵-۴): میزان انحلال فیلم‌های خوراکی تولیدشده بر پایه پکتین - پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از دستگاه تغلیظ‌کننده تحت خلأ، خشک‌کن پاششی نانو و توئین ۸۰.....	۵۵
نمودار (۶-۴): میزان نفوذپذیری به نور فیلم‌های خوراکی تولیدشده بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از دستگاه تغلیظ‌کننده تحت خلأ، خشک‌کن پاششی نانو و توئین ۸۰.....	۵۶
نمودار (۷-۴): رنگ‌سنجی فیلم‌های خوراکی تولیدشده بر پایه پکتین- پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از دستگاه تغلیظ‌کننده تحت خلأ، خشک‌کن پاششی نانو و توئین ۸۰.....	۵۸
نمودار (۸-۴): خواص مکانیکی فیلم‌های خوراکی تولیدشده بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از دستگاه تغلیظ‌کننده تحت خلأ، خشک‌کن پاششی نانو و توئین ۸۰ (تنش (الف)، انرژی ماکزیمم (ب)، مدول (پ)).....	۶۱
نمودار (۹-۴): درصد رطوبت نمونه‌های فیلم‌های خوراکی پکتین و پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از ذرات زئین- کیتوزان و توئین ۸۰.....	۶۳

فصل اول : کلیات

۱-۱ تعریف بسته‌بندی

تاکنون تعاریف متفاوت و گوناگونی از بسته‌بندی ارائه شده است از جمله این تعاریف عبارت است از:

الف- در فرهنگ لغت دهخدا آورده شده است که، بسته‌بندی یعنی بستن اشیاء در یک لفاف یا صندوق.

ب- بسته‌بندی را می‌توان به این صورت تعریف نمود که پوششی از یک سیستم که کالا نامیده می‌شود.

پ- اما به‌طور کلی بسته‌بندی عبارت است از تهیه و یا تولید ظروف یا لفافی که سلامت محصول و یا محتوی درون خود را در فاصله زمانی پس از برداشت یا تولید در تمام مراحل زنجیره (حمل و نقل، انبارداری و توزیع تا مصرف نهایی) حفظ نموده و از بروز صدمات فیزیکی، شیمیایی و میکروبی محصول موردنظر جلوگیری نماید [زنگانه، ۱۳۹۴].

۱-۱-۱- اهداف اصلی بسته‌بندی

- بسته‌بندی مواد غذایی اهداف مختلفی را دنبال می‌نماید که برخی از این اهداف عبارتند از:
- نگهداری و حفاظت از مواد غذایی: بسته‌بندی سبب می‌شود که ماده غذایی موردنظر در برابر آسیب‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی محافظت گردد. همچنین بسته‌بندی باعث به تأخیر افتادن فساد و افزایش مدت زمان نگهداری می‌شود.
 - بهبود وضعیت حمل و نقل، نگهداری و انبارداری و توزیع محصول.
 - بازاریابی: شکل و ظاهر بسته‌بندی مواد غذایی در میزان فروش آن تأثیر بسزایی دارد. به‌طور کلی بسته‌بندی مواد غذایی با میزان فروش رابطه مستقیمی دارد و سبب رقابت بین تولیدکنندگان آن محصول می‌شود.
 - آگاهی سازی: بسته‌بندی اطلاعات مهمی از جمله ارزش تغذیه‌ای، ترکیبات تشکیل دهنده، تاریخ تولید و انقضاء محصول، قیمت و نام شرکت تولیدکننده محصول را به مشتری ارائه می‌دهد [قدسی، ۱۳۹۴].

۲-۱- بسته‌بندی‌های فعال در صنایع غذایی

در چندین سال گذشته توجه و به‌کارگیری بسته‌بندی نوین در تولید مواد غذایی افزایش یافته است این نوع بسته‌بندی در مقایسه با سایر بسته‌بندی‌های رایج سبب افزایش عمر ماندگاری محصول با استفاده از عوامل جاذب (رطوبت، اکسیژن) می‌گردد به‌طور کلی بسته‌بندی‌های نوین را می‌توان به دودسته بسته‌بندی‌های فعال و بسته‌بندی‌های هوشمند تقسیم‌بندی کرد [پایان و همکاران، ۱۳۹۲].

۱-۲-۱- بسته‌بندی‌های فعال

یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین روش‌های نگهداری و حفظ مواد غذایی استفاده از بسته‌بندی‌های نوین به‌ویژه بسته‌بندی‌های فعال می‌باشد. طراحی و مواد تشکیل‌دهنده موجود در این بسته‌بندی به‌گونه‌ای بوده که موجب کنترل واکنش‌های نامطلوب در طی مدت‌زمان نگهداری در مواد غذایی می‌گردد. این نوع بسته‌بندی‌ها به مواد غذایی این امکان را می‌دهند که با محیط اطراف خود در تعامل باشند. بسته‌بندی‌های فعال فرآیندهای مختلفی از جمله فرآیندهای فیزیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی ماده غذایی را که سبب کاهش عمر ماندگاری مواد غذایی می‌شود را کنترل و تنظیم می‌نماید [خانزادی، ۱۳۹۱].

در این نوع بسته‌بندی می‌توان از مواد ضد میکروبی مختلفی استفاده نمود که هر کدام از این مواد دارای ویژگی‌های و مکانیسم خاصی خود هستند. این مواد برحسب عواملی مختلفی همچون نوع و ترکیب ماده غذایی، نوع و تعداد میکروارگانیسم‌ها، فعالیت و میزان دسترسی ماده ضد میکروبی، ترکیب شیمیایی ماده ضد میکروبی و سایر عوامل دیگر انتخاب شده و به کار می‌روند [خانزادی، ۱۳۹۱].

۱-۲-۲- بسته‌بندی هوشمند

بسته‌بندی‌های هوشمند به بسته‌بندی‌های گفته می‌شود که در آن از فناوری‌های جدید روی بسته‌بندی استفاده می‌گردد. در این نوع بسته‌بندی نشانگرهای ویژه‌ای که حاوی اطلاعات از ویژگی‌ها و کیفیت

محصول داشته که بر روی محصول درج می‌گردد. این نشانگرها می‌تواند شامل نشانگرهای دما-زمان، شاخص مواد فرار و گازها و شناساگرهای فرکانس رادیویی باشد [Yam et al, 2005].

۱-۳- خصوصیات و ویژگی‌های مواد اولیه بسته‌بندی

مواد اولیه مورد استفاده در بسته‌بندی‌های مواد غذایی باید دارای ویژگی و خصوصیات خاصی باشد که برخی از این ویژگی‌ها در زیر آورده شده است:

- این مواد باید برای فرآورده‌های غذایی موجود در بسته‌بندی سمی و خطرناک نباشند؛
- در مقابل عوامل خارجی از جمله نور، رطوبت، چربی، گاز و بو مقاوم و غیرقابل نفوذ باشند؛
- از نظر شکل ظاهری باید به گونه‌ای باشد که توجه مصرف‌کننده را به خود جلب نموده و سبب افزایش فروش محصول گردد؛
- مواد استفاده شده در بسته‌بندی فرآورده‌های غذایی باید به گونه‌ای که از نظر اقتصادی برای تولیدکنندگان مقرون به صرفه باشند و در بازار بتوانند با سایر رقبا رقابت کنند [ضیابری، ۱۳۷۴].

۱-۴- بسته‌بندی از دیدگاه محیط‌زیست

به‌طور کلی هدف اصلی از بسته‌بندی فرآورده‌های غذایی کاهش میزان زباله می‌باشد. در چند سال اخیر روش‌های نوینی برای بسته‌بندی‌های مواد غذایی توسط تولیدکنندگان مواد غذایی ارائه شده است. جایگزین کردن بسته‌بندی‌های نوین سبب شده است که بسته‌بندی مواد غذایی یکی از اهداف مهم تولیدکنندگان مواد غذایی به شمار بیاید.

بسته‌بندی‌های مواد غذایی دارای آثار متفاوتی روی محیط‌زیست هستند که می‌توان آن‌ها را به دودسته کلی تقسیم کرد:

الف- دسته اول از بسته‌بندی‌ها، بسته‌بندی‌هایی است که از نظر محیط‌زیست قابل استفاده مجدد هستند و می‌توان آن‌ها را مجدد به چرخه تولید بازگرداند.

ب- دسته دوم مربوط به بسته‌بندی‌هایی می‌باشد که به‌عنوان آلاینده‌های محیط‌زیست (مواد اولیه مصرفی)، نامیده می‌شوند این نوع از بسته‌بندی‌ها به‌سرعت در طبیعت بازیافت نمی‌گردند و سبب آلوده شدن محیط‌زیست می‌شوند. از این مواد می‌توان به پلاستیک‌ها با منشأ مواد نفتی مثل پلی‌الفین‌ها، پلی‌استرها، پلی‌آمید و غیره اشاره نمود که در صنایع مختلف از جمله صنعت غذا مورد استفاده قرار می‌گیرد [Tharanathan, 2003].

۱-۵- فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی

۱-۵-۱- تاریخچه

استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به‌عنوان بسته‌بندی مواد غذایی و همچنین محافظت از آن‌ها به زمان‌های بسیار قدیم برمی‌گردد. اولین پوشش‌های خوراکی توسط چینی‌ها در قرن ۱۲ و ۱۳ میلادی انجام پذیرفت. آن‌ها این کار را به‌منظور به تعویق انداختن کاهش رطوبت مرکبات از جمله پرتقال و لیمو انجام می‌دادند. آن‌ها مشاهده نمودند که پس از پوشش‌دهی مرکبات میزان افت رطوبت به‌طور چشمگیری کاهش یافت. همچنین این پوشش‌ها سبب مهار تبادل گازهای تنفسی و تخمیری شدند. در قرن ۱۶ میلادی برای اولین بار در انگلیس از پوشش‌های خوراکی استفاده شد. انگلیسی‌ها به‌منظور کاهش سرعت افت رطوبت مواد غذایی آن‌ها را در چربی خوک قرار می‌دادند. نگهداری گوشت و فرآورده‌های گوشتی و همچنین سایر مواد غذایی با کمک فیلم‌های ژلاتینی اولین بار در قرن ۱۹ میلادی پیشنهاد گردید. همچنین در این قرن از واکس‌های پارافینی با نقطه ذوب بالا به‌صورت تجاری برای جلوگیری از کاهش رطوبت میوه‌جات و سبزیجات تازه استفاده گردید [Kester et al, 1986].

۱-۵-۲- فیلم و پوشش‌های خوراکی

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به‌عنوان یک لایه نازک در اطراف مواد غذایی موردنظر قرار می‌گیرند که قادر است از تبادل رطوبت، اکسیژن و چربی از محیط به ماده غذایی و بالعکس جلوگیری نمایند. فیلم‌های خوراکی به‌صورت لایه‌های نازک از مواد خوراکی می‌باشند که به‌طور جداگانه از مواد غذایی

تولید می‌گردند و سپس روی مواد غذایی کشیده می‌شود. فیلم‌های خوراکی ممکن است به صورت کیسه، کپسول و لفاف مورد استفاده قرار گیرند. پوشش‌های خوراکی برخلاف فیلم‌ها روی ماده غذایی تشکیل می‌گردد. این عمل به وسیله روش‌هایی همچون واکس زدن، اسپری کردن و غوطه‌ور کردن انجام می‌پذیرد [علیزاده بهبهانی، ۱۳۹۵].

۱-۵-۳- خوراکی بودن و تجزیه پذیری فیلم‌های زیستی

فیلم‌های زیستی بر اساس نوع فیلم تولیدی و مواد تشکیل دهنده می‌تواند به دودسته خوراکی و تجزیه پذیر تقسیم می‌شوند: دسته اول مربوط به فیلم‌هایی است که اگر در فرمولاسیون تولید آن‌ها مواد افزودنی مجاز همانند اسید، باز یا آنزیم استفاده گردد و تغییرات صورت گرفته روی فیلم به خاطر فرآیند گرمایی، افزودن نمک، فرآیند آنزیمی و یا حذف آب باشد، این فیلم‌ها خوراکی می‌باشد. دسته دوم مربوط به فیلم‌ها و پوشش‌های تجزیه پذیری است که بیشتر برای بسته بندی مواد غذایی استفاده می‌گردد. فیلم‌ها و پوشش‌های تجزیه پذیر پس از استفاده توسط میکروارگانیسم‌ها به مواد مختلفی از جمله آب، دی اکسید کربن، متان و بعضی مواد زیستی دیگر تبدیل می‌گردند.

۱-۵-۴- مزایای به کارگیری فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی نسبت به سایر مواد بسته بندی سنتزی دارای مزایایی می‌باشند که این مزایا عبارتند از:

- (۱) افزایش ارزش تغذیه ای مواد غذایی؛
- (۲) دارای خواص تجزیه پذیری؛
- (۳) جلوگیری یا کاهش فساد میکروبی طی نگهداری طولانی؛
- (۴) با نفوذپذیری انتخابی، امکان کنترل انتقال بخار آب، اکسیژن، دی اکسید کربن، چربی و جلوگیری از کاهش طعم و مزه در سیستم‌های غذایی را ممکن می‌سازد [ابراهیمی همتی کیخا، ۱۳۹۹].

۱-۵-۵- ویژگی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی باید دارای خصوصیات و ویژگی‌های مناسب برای بسته‌بندی مواد غذایی باشند. ترکیبات مورد استفاده در فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی باید بتواند از نفوذ رطوبت و اکسیژن در مواد غذایی جلوگیری نماید. همچنین این مواد باید دارای خصوصیات مکانیکی مطلوب و غیر سمی باشند. این ویژگی‌ها به نوع ماده غذایی مورد استفاده، نحوه شکل‌گیری و چگونگی کاربرد آن‌ها بستگی دارد [Kester et al, 1986].

۱-۶- انواع فیلم‌های خوراکی

به‌طور کلی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به ۴ دسته تقسیم می‌شوند:

فیلم بر پایه پلی ساکارید: صمغ‌ها، نشاسته، کربوهیدرات‌های غیر نشاسته‌ای و فیبرها از جمله پلی‌ساکاریدهایی هستند که در تولید فیلم‌های خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. زنجیر پلی‌ساکاریدها در مقایسه با زنجیر پروتئین‌ها ساده‌تر می‌باشد، اما ساختار فضایی پلی‌ساکاریدی پیچیده‌تر و غیرقابل پیش‌بینی می‌باشد و در نتیجه نسبت به پروتئین‌ها وزن مولکولی بیشتری دارند. پلی‌ساکاریدها به دلیل داشتن آرایش زنجیری پلیمر، دارای نفوذپذیری پایینی نسبت به گاز هستند اما به دلیل داشتن ماهیت آب‌دوستی آن‌ها نفوذناپذیری ضعیفی را نسبت به بخار آب ایجاد می‌نمایند [Perez-Gago et al, 1986].

فیلم بر پایه پروتئین: معمولاً از پروتئین‌ها به دلیل داشتن ویژگی‌های خاص در فرمولاسیون فیلم‌ها استفاده می‌گردد. عوامل بسیار زیادی روی ساختار فضایی پروتئین‌ها اثر می‌گذارند که این عوامل شامل تعادل میان آب‌دوستی و آب‌گریزی می‌باشد و با تنظیم و کنترل این عوامل می‌توان ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های تولیدشده را تعیین نمود. از مشکلات فیلم‌های پروتئینی می‌توان به نفوذپذیر بودن این فیلم‌ها در برابر رطوبت اشاره کرد. فیلم‌های پروتئینی در برابر نفوذ اکسیژن مقاومت بسیار زیادی دارد [Sothornvit et al, 2001].

فیلم بر پایه ترکیبات چربی: یکی دیگر از ترکیبات تولیدکننده فیلم‌ها، ترکیبات چربی می‌باشد. اما این فیلم‌ها پلیمر نیستند اما دارای ترکیبات آلی، تجزیه‌پذیر و چسبنده هستند. بیشتر چربی‌های خوراکی در دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به‌صورت جامد اما نرم هستند. چربی با دلیل داشتن ویژگی‌های آب‌گریزی، چسبندگی، انعطاف‌پذیری و ساختار کریستالی محکم، نفوذناپذیری زیادی به رطوبت دارند و مانع از نفوذ مولکول‌های بخار آب می‌شوند. همچنین این فیلم‌ها از انرژی سطحی کمی برخوردارند. ترکیبات چربی قادر هستند که با سایر مواد تشکیل‌دهنده فیلم از جمله پروتئین‌ها ترکیب شوند و سبب افزایش مقاومت آن‌ها به نفوذ آب شوند [خانزادی، ۱۳۹۱].

فیلم‌ها و پوشش‌های مرکب: این نوع از فیلم‌های و پوشش‌های خوراکی اغلب ترکیبی از پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها و چربی می‌باشند. این روش سبب استفاده از مزیت ویژگی‌های کاربردی هر گروه فیلم تشکیل‌دهنده به‌تنهایی می‌شود [Kester et al, 1986].

۷-۱- بهبوددهنده‌ها در فیلم‌های خوراکی

۱-۷-۱- پلاستی‌سایزر (نرم‌کننده‌ها):

در میان فیلم‌ها، فیلم‌های پروتئینی و پلی‌ساکاریدی اکثراً سخت و شکننده می‌باشند که این اتفاق به دلیل برهمکنش بین پیوندهای درون بسیار می‌باشد. اضافه نمودن پلاستی‌سایزر به فیلم‌های خوراکی سبب کاهش برهمکنش‌های موجود در شکل و ساختار آن‌ها می‌گردد. به‌کارگیری پلاستی‌سایزرها در فیلم‌های سبب کاهش جلوگیری از انتقال رطوبت، اکسیژن، آروما و روغن می‌شود [خانزادی، ۱۳۹۱].

۱-۷-۲- فیلم‌های و پوشش‌های خوراکی حاوی مواد ضد میکروب:

فیلم و پوشش‌های خوراکی قادر هستند مواد فعال مختلفی از جمله امولسیفایرها، آنتی‌اکسیدان‌ها، مواد ضد میکروبی، طعم‌دهنده‌ها و رنگ‌ها را حمل نمایند که در نتیجه منجر به افزایش کیفیت ماده غذایی و ایمنی آن‌ها می‌گردند. فیلم‌های خوراکی حاوی مواد ضد میکروب از جمله اسانس و عصاره‌های گیاهی یک ایده نوین در زمینه بسته‌بندی می‌باشند که قادر هستند از رشد میکروارگانیسم‌ها در سطح مواد

غذایی جلوگیری نمایند. برای این منظور مواد ضد میکروبی را به صورت کنترل شده به فیلم های خوراکی اضافه می نمایند [Campos et al, 2011].

۷-۱- استفاده از پکتین در تولید فیلم های خوراکی

یکی از انواع هتروپولی ساکاریدهای طبیعی و غیر نشاسته ای موجود در طبیعت، پکتین می باشد. این ترکیب در میان دیواره سلولی گیاهان به وفور یافت می شود و در حدود یک سوم ماده خشک دیواره سلولی گیاهی را تشکیل می دهد. این ترکیب سبب افزایش استحکام و چسبندگی در بافت های گیاهی می شود [Espitia et al, 2014].

در محصولات کال (نارس)، پکتین به سلولز متصل شده است که آن را پروتوپکتین می نامند. این ماده به صورت نامحلول یافت می شود. در صورتی که پروتوپکتین تجزیه گردد تبدیل به پکتین می شود. در صورتی که پروتوپکتین را در محیط اسیدی حرارت دهیم، سلولز از ساختار پروتوپکتین جدا شده و پکتین به صورت محلول در می آید. عمل تجزیه پروتوپکتین در میوه ها در هنگام رسیدن توسط آنزیمی به نام پروتوپکتیناز اتفاق می افتد و سبب می شود میوه از حالت سفتی خارج گردد [Espitia et al, 2014].

پکتین یک ترکیب هیدروفیل می باشد که از واحدهای اسید گالاکتورونیک با اتصالات آلفا ۱ به ۴ تشکیل شده است. در صنایع غذایی از پکتین به عنوان پایدارکننده و تشکیل دهنده ژل در فرآورده هایی همانند مربا استفاده می شود. همچنین از این ترکیب در تهیه نوشیدنی های میوه ای و محصولات کم کالری و بستنی نیز استفاده می شود. از این ماده نیز در تولید فیلم های خوراکی می توان استفاده کرد [مجدزاده، ۱۳۹۵].

۸-۱- پروتئین آب پنیر و خصوصیات آن

یکی از مهم ترین منابع غذایی جوامع بشری شیر و فرآورده های شیری است. شیر از ترکیب ۸۷ درصد آب

و حدود ۱۳ درصد مواد جامد که شامل چربی، پروتئین، لاکتوز، مواد معدنی و ویتامین‌ها تشکیل شده است. از مهم‌ترین فرآورده‌های تولیدشده از شیر می‌توان پنیر را نام برد. به فرآورده حاصل از فرآیند تولید پنیر، آب‌پنیر گفته می‌شود. پروتئین‌های آب‌پنیر (که پروتئین‌های سرمی یا محلول نیز نامیده می‌شوند) یکی از انواع مواد تجزیه‌پذیر طبیعی می‌باشد که، در بسته‌بندی مواد غذایی و صنایع دارویی بکار گرفته می‌شود. پروتئین‌های موجود در شیر به دو گروه کلی که شامل پروتئین‌های شیر کازئین‌ها (۸۰٪) و پروتئین‌های آب‌پنیر (۲۰٪) می‌باشند، تقسیم می‌شوند [Huffman et al, 1999].

۱-۸-۱- ویژگی‌های شیمیایی پروتئین‌های آب‌پنیر

- **حلالیت:** پروتئین‌های موجود در آب‌پنیر محلول در آب هستند. اغلب آمینواسیدهای موجود در پروتئین‌های آب‌پنیر از نوع قطبی هستند.
 - **تشکیل ژل:** ژل‌های پروتئینی آب‌پنیر توسط اضافه نمودن نمک، فعالیت آنزیمی، تغییرات pH و یا به کمک حرارت تشکیل می‌گردند.
 - **ایجاد سیستم امولسیون:** پروتئین‌های آب‌پنیر با توجه به داشتن گروه‌های باردار به‌عنوان امولسیفایر عمل کنند. زمانی که این پروتئین‌ها به سطح باردار چربی‌ها می‌رسند از پیوستن به فاز چربی و دی‌هیدراسیون جلوگیری می‌کند و این عمل سبب حرکت گروه‌های باردار روی سطح و درنهایت باز شدن ساختار فضایی پروتئین می‌گردد. تشکیل شدن این سیستم بستگی به عواملی نظیر مقدار بتا-لاکتوگلوبولین و میزان آب‌گریزی آن‌ها دارد [جباری، ۱۳۸۶].
- در اوایل دهه ۹۰ میلادی پژوهشگران دریافتند که پروتئین‌های آب‌پنیر این توانایی را دارند که فیلم تشکیل دهند و می‌توان از این پلیمر طبیعی به‌عنوان جایگزین پلیمرهای مصنوعی استفاده کرد. تحقیقات زیادی نشان داده است که پروتئین‌های آب‌پنیر توانایی ایجاد فیلم‌های شفاف و انعطاف‌پذیر را دارند [جباری، ۱۳۸۶].

۹-۱- زئین ذرت

زئین^۱ در ترکیب پپتیدها دیده می‌شود و با توجه به میزان حلالیت، اندازه مولکول‌ها و نوع ذرت دارای روش‌های جداسازی متفاوتی نیز می‌باشد. به‌طور کلی زئین به‌واسطه سیتوپلاسم موجود در دیواره سلولی به‌صورت گرانول‌های آمورف به‌دست می‌آید. زئین در آب دارای حلالیت کمی می‌باشد، اما به‌راحتی در اتانول حل می‌گردد. زئین در حدود ۲۱ تا ۲۶ درصد گلاتومیک اسید^۲ و گروه‌های غیر قطبی لئوسین^۳ (۲۰ درصد)، پرولین^۴ (۱۰ درصد) و آلانین^۵ (۱۰ درصد) می‌باشد. مقدار زیاد پپتید سبب ایجاد خواص آب‌گریزی زئین می‌گردد. زئین ذرت را می‌توان بر اساس میزان انحلال‌پذیری به دو گروه آلفا و بتا تقسیم نمود. گروه اول یعنی نوع آلفا به میزان بیشتری یافت می‌گردد که دارای حدود ۷۰ درصد پرولامین می‌باشد. میزان حل‌شوندگی گروه بتا بسیار پایین است و در ۹۵ درصد در اتانول حل نمی‌شود. زئین نوع بتا نسبتاً ناپایدار و به‌سرعت رسوب می‌شود و به‌صورت تجاری قابل‌استفاده نیست. معمولاً برای مصارف تجاری از زئین نوع آلفا استفاده می‌گردد [Shukla et al, 2001, Timothy et al, 2011].

۹-۱-۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زئین ذرت

۹-۱-۱-۱- ویژگی‌های فیزیکی زئین ذرت

زئین تجاری به رنگ زرد و دارای حدود ۲۰ درصد مواد جامد غیر پروتئینی و مقدار بسیار ناچیزی روغن می‌باشد. زئین فاقد بو و دارای وزن مولکولی ۲۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ دالتون و دمای تجزیه ۱۸۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد [Shukla et al, 2001].

¹ Zein

² Glutamic acid

³ Leucine

⁴ Proline

⁵ Alanine

۱-۹-۲- ویژگی‌های شیمیایی ژئین ذرت

حلالیت: ژئین در آب نامحلول می‌باشد ولی در حضور غلظت‌های بالای اوره یا مواد قلیایی با pH بیش از ۱۱ در آب محلول می‌باشد، همچنین در حلال‌های قطبی همانند پروپیلن گلیکول و اسیدهای آلی نظیر اسید استیک محلول است [Nielsen et al, 1994].

ژل‌کنندگی قوی: محلول‌های ژئینی بسیار ناپایدار هستند و به سرعت تشکیل ژل می‌دهد. با افزایش میزان غلظت الکل به بیش از ۱۰ درصد سرعت تشکیل ژل به سرعت افزایش می‌یابد. عوامل مختلفی وجود دارد که بر سرعت ژله‌ای شدن تأثیر می‌گذارد، که این عوامل عبارتند از:

۱- نوع و غلظت حلال؛

۲- دما در زمان هم زدن؛

۳- غلظت ژئین [Shukla et al, 2001].

۱-۱۰- اسانس‌های گیاهی

اسانس‌ها دارای کاربرد بسیار زیادی در صنایع مختلف از جمله در صنایع داروسازی، صنایع شیمیایی، صنعت عطر و ادکلن‌سازی، صنعت غذا (نوشیدنی‌ها، شیرینی و شکلات)، علم پزشکی و غیره می‌باشد. از جمله کاربردهای متفاوت اسانس‌ها در علم پزشکی می‌توان به فعالیت‌های ضد تشنج، ضدالتهاب، ضد قارچی و آنتی‌باکتریایی اشاره نمود (علیزاده بهبهانی، ۱۳۹۵).

۱-۱۱- آویشن

یکی از جنس‌های مهم تیره نعناعیان آویشن (*Thymus vulgaris*)، می‌باشد که در تمام فارماکوپه‌های معتبر از پیکر رویشی آن به عنوان دارو یاد شده و خواص دارویی آن مورد تأیید قرار گرفته است. از حدود ۲۵۸ گونه از جنس آویشن، ۱۴ گونه در ایران وجود دارد. بیشترین پراکندگی این جنس در استان‌های شمالی و غربی کشور است. از بین ۱۴ گونه ذکر شده ۴ گونه اندمیک ایران (*T. persicus*،

T.marandensis, *T. daenensis*, *T.lancifolius*) هستند. گیاه آویشن با داشتن اسانس و ترکیبات شیمیایی دارویی مختلف یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی در جهان است. در بین داروهای تولیدشده از گیاهان دارویی، این گیاه پس از نعناع در رتبه دوم قرار دارد [نظرلی و همکاران، ۱۳۹۶]. این گیاه به دلیل داشتن خواص ضدعفونی کننده، بی حس کننده، ضد نفخ، ضد انگل و ضد اسهال در درمان سنتی به صورت ویژه کاربرد دارد. فرآورده‌های مختلف به دست آمده از آویشن از جمله اسانس، آب معطر و جوشانده آن به طور معمول در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعات جدید نشان داده است که آویشن شیرازی دارای خواص بیولوژیکی گسترده‌ای نظیر اثرات ضد درد، ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی می‌باشد [شمالی، ۲۰۱۹].

۱-۱۲- کیتوزان

دومین بیوپلیمر فراوان موجود در طبیعت پس از سلولز، کیتوزان می‌باشد. کیتوزان مشتقی از گلوکان با واحدهای تکرارشونده کیتین است. کیتین اولین بار در سال ۱۸۱۱ توسط دانشمند فرانسوی به نام براکونوت، از قارچ استخراج گردید. ۴۸ سال بعد از استخراج کیتین یعنی سال ۱۸۵۹ روگت توانست ماده جدیدی به نام کیتوزان را از فرآیند استیل‌زدایی کیتین به دست آورد. امروزه از کیتوزان در صنایع مختلفی از جمله صنعت غذا و صنعت پزشکی استفاده می‌گردد. کشور آمریکا استفاده از این بیوپلیمر را مواد غذایی مجاز دانسته است و کشورهای هم‌چون ژاپن، ایتالیا و فنلاند از آن به‌عنوان افزودنی استفاده می‌نمایند اما بسیاری از کشورها برخی محدودیت‌ها را جهت به‌کارگیری به‌عنوان یک ماده نگهدارنده مطرح کرده‌اند [Rhoades et al, 2000, Papadimitriou, et al, 2008, Baldrick, 2010]. کیتوزان دارای خواص بیولوژیکی فراوانی از جمله سازگاری با محیط زیست به‌عنوان یک ماده زیست‌تخریب‌پذیر، غیر سمی، ضد میکروبی، کاهش دهنده کلسترول خون و کاهش دهنده وزن می‌باشد. با توجه به خصوصیات ذکر شده می‌توان آن را در زمینه‌های مختلف استفاده نمود [درویش و همکاران، ۱۳۹۵].

فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های پیشین

۲-۱- فیلم‌ها و پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر

۲-۱-۱- مروری بر سوابق مطالعاتی در مورد تولید فیلم‌های پلی‌ساکاریدی

پاولاث^۱ و همکاران (۱۹۹۹)، در طی مطالعه‌ای با استفاده از پکتین فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیری را تولید کردند. هدف از مطالعه افزایش میزان مدت‌زمان حلالیت این فیلم‌ها در حلال آب با کمک محلول‌های کاتیونی بود. نتایج نشان داد که محلول‌های کاتیونی سبب افزایش مدت‌زمان حلالیت فیلم‌های پکتینی می‌گردد [Pavlat et al, 1999].

مارینیلو^۲ و همکاران (۲۰۰۳)، در طی پژوهشی از آرد سویا و پکتین برای تولید فیلم‌های خوراکی هیدروکلوئید استفاده نمودند. سپس به فیلم‌های تولیدشده به‌منظور تولید باندهای ایزوپیتید آنزیم ترانس گلوتامیناز اضافه گردید. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که آنزیم ترانس گلوتامیناز استحکام فیلم‌ها را افزایش و انعطاف‌پذیری آن‌ها را کاهش داد [Mariniello et al, 2003].

در سال (۲۰۰۴) تورهان و همکاران در طی پژوهشی فیلم‌های خوراکی بر پایه متیل سلولز نرم شده با غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن گلیکول تولید کردند. آن‌ها در انتهای پژوهش خود گزارش دادند که اضافه کردن پلی‌اتیلن به ماتریس پلیمر، میزان نفوذپذیری به بخار آب و همچنین درصد زیاده شدن طول فیلم‌ها را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد و میزان مقاومت به کشش آن‌ها را نیز کاهش می‌دهد. همچنین آن‌ها بیان نمودند که میزان حلالیت نمونه‌های حاوی پلی‌اتیلن گلیکول نسبت به سایر نمونه‌ها بالاتر است [Turhan et al, 2004].

در سال (۲۰۰۶) رودریگوئز و همکاران اثر مرکب نرم‌کننده گلیسرول و مواد فعال سطحی (توئین ۲۰، اسپن ۸۰ و لستین سویا) را بر خصوصیات فیزیکی فیلم‌های خوراکی بر پایه نشاسته سیب‌زمینی را مورد مطالعه قرار دادند. افزودن نرم‌کننده‌ها در این فیلم‌ها سبب افزایش انعطاف‌پذیری و نفوذپذیری آن‌ها

¹ Pavlat

² Mariniello

به بخار آب شده است. همچنین آن‌ها گزارش نمودند که افزودن توئین ۲۰ حتی در مقادیر کم سبب کاهش کشش سطحی فیلم‌ها گردید. در صورتی که این رفتار (کاهش کشش سطحی) در غلظت‌های بالای لستین اتفاق افتاد. همچنین آن‌ها بیان نمودند که افزودن نرم‌کننده‌ها و مواد فعال سطحی به فیلم‌های خوراکی سبب کاهش میزان مقاومت به کشش فیلم و افزایش درصد ازدیاد طول و نفوذپذیری به بخار آب شده است [Rodríguez et al, 2006].

در طی پژوهشی که واسکونز و همکاران در سال (۲۰۰۹) روی پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی بر پایه نشاسته کاساوا و کیتوزان انجام دادند، بیان نمودند که اضافه کردن کیتوزان به نشاسته کاساوا میزان حلالیت و نفوذپذیری به بخار آب این نوع فیلم‌ها را کاهش می‌دهد [Vásconez et al, 2009].

واریانن^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، اثرات نانو ذرات مونتموریلونیت را روی خواص ممانعتی فیلم‌های تولیدشده از پکتین چغندر قند را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش فیلم‌های پکتینی با غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد با کمک روش قالب‌گیری تولید گردید. یافته‌های حاصل از پژوهش نشان داد که فیلم‌های نانوکامپوزیتی تولیدشده از پکتین و مونتموریلونیت، در برابر اکسیژن و بخار آب خواص ممانعت‌کنندگی پیدا نمود [Vartiainen et al, 2010].

در سال (۲۰۱۱a)، قاسملو و همکاران اثر پلاستی‌سایزر سوربیتول و گلیسرول را بر ویژگی‌های فیلم‌های خوراکی تولیدشده بر پایه آگرو پلی‌ساکارید کفیران را مورد پژوهش قرار دادند. آن‌ها گزارش دادند که با افزایش میزان غلظت نرم‌کننده‌ها سبب کاهش میزان مقاومت کششی و ازدیاد طول فیلم‌ها گردید. همچنین میزان نفوذپذیری بخار آب نیز افزایش یافت [Ghasemlou et al, 2011].

در سال (۲۰۱۲)، احمدی و همکاران در طی مطالعه اثر غلظت‌های مختلف گلیسرول را بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و حرارتی فیلم‌های تهیه‌شده از هیدروکلوئید دانه اسفرزه را مورد پژوهش قرار دادند. آن‌ها بیان نمودند که افزایش میزان غلظت گلیسرول سبب افزایش میزان حلالیت و

¹ Vartiainen

نفوذپذیری فیلم‌های خوراکی نسبت به بخار آب می‌شود. همچنین با افزایش میزان غلظت گلیسرول مقاومت کششی فیلم‌ها و آب‌گریزی سطحی آن‌ها کاهش یافت [Ahmadi et al, 2012].

کابلو^۱ و همکاران (۲۰۱۵)، در طی پژوهشی اثر دو نرم‌کننده گلیسرول و پلی‌اتیلن گلایکول را روی ساختار فیلم‌های پکتینی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که گلیسرول همانند یک نرم‌کننده داخلی عمل می‌نماید. آن‌ها دریافتند که گلیسرول سبب می‌شود که در ساختار فیلم، قسمت آمورف غالب گردد. در این حالت جاذبه بین مولکولی کاهش یافته و در نهایت سبب تجزیه و ایجاد یک ساختار جدید در حلقه گالاکتورونان می‌گردد. در این پژوهش مشخص گردید که گلیسرول، فیلم‌های ضعیف‌تری تولید می‌نماید. گلیسرول سبب افزایش نفوذپذیری نسبت به بخار آب در فیلم‌ها نیز شد. هنگامی که از پلی‌اتیلن گلایکول به عنوان یک نرم‌کننده در فیلم‌های تولیدی استفاده گردید، مشخص شد که فیلم‌های تولیدی نسبت به فیلم‌های پکتینی بدون نرم‌کننده، ضعیف‌تر شده و مدول یانگ کاهش یافت [Cabello et al, 2015].

در سال (۱۳۸۷) حسینی و همکاران در طی پژوهشی خصوصیات و ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی و آنتی‌باکتری فیلم‌های خوراکی تولیدشده بر پایه کیتوزان حاوی اسانس‌های آویشن، میخک و دارچین را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش دادند که اضافه نمودن اسانس به فیلم‌های خوراکی سبب افزایش مقدار رطوبت، حلالیت در آب، نفوذپذیری به بخار آب و درصد ازدیاد طول می‌گردد [حسینی و همکاران، ۱۳۸۷].

۲-۱-۲- مروری بر سوابق مطالعاتی در مورد فیلم‌های پروتئینی

مک‌هاگ^۲ و همکاران (۱۹۹۴)، در طی پژوهشی نفوذپذیری بخار آب فیلم‌های خوراکی امولسیون پروتئین آب‌پنیر- چربی را تحت شرایط رطوبت نسبی مختلف مورد مطالعه قرار دادند. برای این کار در ابتدا محلول ۱۰ درصد وزنی- وزنی ایزوله پروتئین آب‌پنیر را در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت

¹ Cabello

² Mchugh

۳۰ دقیقه در حمام روغن قرار گرفت. سپس تا دمای اتاق سرد گردید و به آن‌ها سوربیتول اضافه گردید. برای تولید فیلم‌های امولسیون، محلول‌های پروتئین آب‌پنیر- سوربیتول تا دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد حرارت دیدند و به آن‌ها اسیدهای چرب، الکل‌های چرب و موم زنبورعسل جهت تعیین اثرات آن‌ها بر خواص ضد بخارآب، اضافه گردید. درنهایت محلول‌های قالب‌زده شده به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. نتایج نشان داد که اضافه نمودن چربی به فیلم‌های تولیدشده از پروتئین آب‌پنیر، نفوذپذیری به بخارآب را کاهش می‌دهد [Mchugh et al, 1994].

لای^۱ و همکاران (۱۹۹۷)، اثر نرم‌کننده‌ای اسید استئاریک و اسید پالمیک را روی خواص مکانیکی فیلم‌های ژئینی را موردبررسی قرار دادند. محققین در این پژوهش از غلظت‌های ۰/۲۵ تا ۱ گرم نرم‌کننده بر گرم ژئین استفاده کردند. یافته‌های حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد فیلم‌های ژئینی بدون نرم‌کننده کمترین مقاومت کششی را داشتند [Lai et al, 1997].

گیلبرت^۲ (۱۹۸۸)، اثر اسید سوربیک اضافه‌شده به فیلم‌های کازئینی یا ژلاتینی را موردبررسی قرارداد و مشاهده کرد که پایداری میکروبی بهبود می‌یابد. از اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰ استفاده از ترکیبات ضد میکروبی طبیعی نیز در فیلم‌های خوراکی پروتئینی آغاز شد. فعالیت آنتی‌باکتریایی فیلم‌های ژئینی حاوی نایسین و فیلم‌های ژئینی یا پروتئین سویای حاوی لیزوزیم یا نایسین در مقابل لاکتوباسیلوس پلانتروم موردبررسی قرار گرفت. سوربات پتاسیم به فیلم‌های ایزوله پروتئین سویا افزوده شد و فعالیت ضد میکروبی آن‌ها در مقابل سویه ساکارومایسز سروزیه، آسپرزیلوس نیجر و پنی سیلیوم راکوفرتی موردبررسی قرار گرفت [Guilbert, 1988].

کوکسی^۳ و همکاران (۲۰۰۰) برای بسته‌بندی پنیر خردشده نایسین را به پارچ‌های ژئینی افزودند. آن‌ها در طی مطالعات خود بیان نمودند که نایسین در فیلم‌های ژئینی اثری روی باکتری‌های هوازی

¹ Lai

² Guilbert

³ Cooksey

ندارد و فیلم‌های ژئینی در دمای پایین خواص مهارکنندگی نامناسبی از خود نشان دادند [Cooksey et al., 2000].

پرز گاگو و همکاران در سال (۲۰۰۱)، در طی پژوهشی اثر زمان حرارت‌دهی و دمای محلول سازنده فیلم بر خواص کششی و نفوذپذیری به اکسیژن را در فیلم‌های پروتئین آب پنیر مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، محلول ۱۰ درصد ایزوله پروتئین آب پنیر در حمام آب گرم در دماهای ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه حرارت دیدند و گلیسرول به‌عنوان نرم کننده به تمام محلول‌های سازنده اضافه شد. نتایج نشان داد چنانچه دما و زمان حرارت‌دهی محلول سازنده فیلم افزایش یابد، فیلم‌ها سفت‌تر و کشش‌پذیرتر می‌شوند، همچنین نفوذپذیری به اکسیژن برای فیلم‌های ساخته شده از پروتئین آب پنیر دنا‌توره شده حرارتی نسبت به فیلم حرارت ندیده کمتر بود.

تاویراس و همکاران (۲۰۲۱)، خواص فیزیکی‌وشیمیایی و ریزساختاری فیلم خوراکی کامپوزیتی ترکیب‌شده از کیتوزان و پروتئین آب‌پنیر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که اضافه نمودن مقدار کمی از کیتوزان در ماتریس پروتئین آب‌پنیر منجر به تشکیل یک فیلم کامپوزیت با مقاومت کششی بالا و انعطاف‌پذیری کم می‌شد [Tavares et al, 2021].

در سال (۱۳۸۷)، بلقیسی و همکاران در طی مطالعه‌ای خواص فیزیکی فیلم‌های پروتئین آب پنیر و پروتئین آب پنیر- منوگلیسرید، اثر پوشش‌دهی فیلم پروتئین آب پنیر- منوگلیسرید را بر افت رطوبت و ویژگی‌های حسی گوشت تازه گوسفند مورد بررسی قرار دادند. به این منظور ابتدا فیلم‌های خوراکی پروتئین آب پنیر و پروتئین آب پنیر - منوگلیسرید (گلیسرول استئارات) به روش قالب‌ریزی ساخته شدند. اندازه‌گیری ضخامت، نفوذپذیری به بخار آب و اکسیژن آن‌ها نشان داد که هم نفوذپذیری به بخار آب و هم نفوذپذیری به اکسیژن فیلم خوراکی پروتئین آب پنیر منوگلیسرید در مقایسه با فیلم پروتئین- آب پنیر کاهش معنی‌دار داشت. سپس قطعات ماهیچه ران گوسفند که به

یک اندازه و شکل بریده شد و پس از صفر، ۱، ۳ و ۵ روز نگهداری در یخچال رطوبت و درصد افت رطوبت و ویژگی‌های حسی (آبدار بودن، رنگ و بو) نمونه‌های پوشش‌دار و بدون پوشش بررسی شدند. نتایج حاصل نشان داد گوشت‌های پوشش‌دار و بدون پوشش، از نظر رطوبت، درصد افت رطوبت، آبدار بودن و رنگ با هم اختلاف معنی‌داری داشتند. به طوری که نمونه‌های پوشش‌دار، رطوبت بیشتر، افت رطوبت کمتر و رتبه آبدار بودن بیشتر و رنگ مطلوب‌تری نسبت به نمونه‌های بدون پوشش داشتند ولی از نظر بو، اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های پوشش‌دار و بدون پوشش وجود نداشت. با توجه به نتایج، پوشش خوراکی مناسب می‌تواند جایگزین مناسبی برای پد رطوبت‌گیر درون بسته‌های گوشت تازه باشد و با کاهش درصد افت رطوبت محصول، ضمن ایجاد ظاهری بهتر با جلوگیری از تجمع شیرابه در ظرف بسته‌بندی از کاهش ارزش تغذیه‌ای محصول به واسطه ترشح خون آبه طی دوره نگهداری جلوگیری کند.

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۲- مواد مورد استفاده

مواد مورد استفاده شامل: کیتوزان با درجه استیل زدایی ۷۵-۸۵ درصد (سیگما آلد ریچ، آمریکا)، پکتین HM (پکتین، شرکت سیلوا، ایتالیا)، پروتئین آب پنیر (هلیمار، آمریکا)، زئین ذرت (شرکت زرین ذرت، ایران) و گلیسرول (شرکت مرک، آلمان)، الکل اتانول ۹۶ درصد (شرکت زکریای جهرم، ایران)، توئین ۸۰ (شرکت مرک، آلمان) و اسید استیک (شرکت مرک، آلمان) بود.

۳-۲-۱- تجهیزات مورد استفاده

نام دستگاه	مدل	کشور
هیتر استرر	جنوی	انگلستان
بافت سنج	بروکفیلد	آمریکا
اسپکتروفتومتر	یونیکو	آمریکا
ترازوی آزمایشگاهی	سارتوریوس	کانادا
میکروسکوپ الکترونی روبشی	Sigma 300- HV	آلمان
اوپراتور	هایدولف	آلمان
فراصوت پروبی	تأمین اهورا UH-20-1200	ایران
خشک کن پاششی نانو	توسن نانو- TN555	ایران

۳-۲-۲- روش های مورد استفاده

۳-۲-۲-۱- آزمون های قبل از تهیه فیلم

۳-۲-۲-۱-۱- خالص سازی زئین

برای خالص سازی زئین (محصول جانبی کارخانه زرین ذرت)، ابتدا ۱۰۰ گرم زئین ناخالص را به ۶۰۰ میلی لیتر الکل اتانول ۷۰ درصد اضافه شد، سپس محلول مورد نظر با کمک همزن به خوبی هم زده شد تا زئین مورد نظر به خوبی حل گردد سپس محلول مورد نظر را بر روی هیتر در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت به هم خورد. پس از سپری شدن مدت زمان مذکور، محلول شفاف رویی را

به کمک دستگاه سانتریفیوژ، جدا نمود و محلول حاصل از آن را با دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد تغلیظ گردید. در نهایت محلول تغلیظ شده را درون سینی‌های بزرگ ریخته و در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. ماده باقی‌مانده پس از خشک شدن زئین خالص می‌باشد [Timothy et al, 2011].

۳-۲-۲-۱-۲- تولید پودر کیتوازن- زئین ذرت به روش پاششی

در روش پاششی در ابتدا ۰/۵ گرم پودر کیتوازن به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد، سپس ۲ میلی‌لیتر اسید استیک غلیظ به محلول قبلی اضافه گردید. برای حل شدن بهتر این محلول، آن را به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد بر روی همزن قرار گرفت. هم‌زمان ۰/۵ گرم پودر زئین خالص را در دمای محیط به ۱۰۰ میلی‌لیتر الکل ۷۰ درصد اضافه نموده و آن را روی همزن مغناطیسی مخلوط گردید. پس از آماده شدن محلول‌های موردنظر، آن‌ها را با یکدیگر ترکیب و با آب مقطر به حجم ۸۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس محلول فوق‌الذکر به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه فراصوت با قدرت ۶۰ وات قرار داده شد. محلول مورد نظر با دستگاه خشک‌کن پاششی نانو با دمای اولیه ۶۴ درجه سانتی‌گراد خشک و به پودر تبدیل شد. پودر حاصل را بسته‌بندی و در جای خشک و خنک قرار داده شد [Silvaa et al, 2018].



شکل (۳-۱): شماتیک دستگاه خشک کن پاششی نانو

۳-۲-۲-۱-۳- تولید پودر کیتوزان- زئین ذرت به روش تغلیظ کننده تحت خلأ همراه با آون

برای تولید پودر کیتوزان-زئین ذرت به روش تغلیظ کننده تحت خلأ محلول‌های موردنظر را همانند روش پاششی تهیه‌شده، سپس محلول ترکیب‌شده و آن را به دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ انتقال دادیم. پس از تغلیظ محلول مذکور به کمک دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ، محلول جهت خشک شدن در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. درنهایت پودر خشک‌شده بسته‌بندی و برای سایر آزمون‌های در جای خشک و بدون از رطوبت قرار داده شد [Silva et al, 2018]. پس از تهیه پودر مورد نیاز بخشی از پودر برای تهیه امولسیون و بخش دیگر برای استفاده در دستگاه SEM به کار گرفته شد.

۳-۲-۱-۴- بررسی اندازه و مورفولوژی ذرات تولیدشده با استفاده از دستگاه SEM

برای بررسی اندازه و مورفولوژی ذرات تولیدشده با استفاده از روش خشک‌کن پاششی نانو و روش تبخیر حلال (تغلیظ کننده تحت خلأ) از روش SEM استفاده گردید. در این روش پس از به‌دست آمدن پودرهای کیتوزان-زئین به روش‌های خشک‌کن پاششی نانو و تغلیظ کننده تحت خلأ مقدار از آن را برداشته و به صورت مستقیم روی لامل ریخته و به دستگاه SEM برای آزمون‌های موردنظر منتقل گردید [Almasi et al, 2020]. در این روش نمونه‌ها در ابتدا با دستگاه اسپاترینگ رومیزی (DSRI-Nano-structured coatings، ساخت ایران) با طلا پوشش داده شدند و سپس عکس‌برداری انجام گرفت.

۳-۲-۱-۵- تهیه امولسیون اسانس آویشن

۳-۲-۱-۵-۱- تهیه امولسیون اسانس آویشن با استفاده از پودر کیتوزان-زئین حاصله از خشک‌کن پاششی نانو و تغلیظ کننده تحت خلأ

برای تهیه امولسیون در ابتدا (۰/۹۱ گرم) پودر به‌دست از خشک‌کن پاششی نانو را با ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط نموده و محلول حاصله را به مدت ۲۰ دقیقه روی هیتر در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به هم خورد. سپس مقدار (۰/۲۲۷ گرم) اسانس آویشن را با ۲۰ میلی‌لیتر آب ترکیب نموده سپس دو محلول تهیه‌شده با یکدیگر ترکیب و به مدت ۲ دقیقه بر روی هیتر قرار داده شد و به هم خورد. درنهایت محلول موردنظر به مدت ۵ دقیقه در حمام فراصوت قرار گرفت [Noori et al, 2018].

۳-۲-۱-۵-۲- تهیه امولسیون اسانس با توئین ۸۰

برای تهیه امولسیون توئین نیز مانند روش‌های قبل استفاده گردید، اما در این روش میزان (۰/۲۲۷ گرم) اسانس آویشن با مقدار (۰/۰۶۸ گرم) توئین ۸۰ با یکدیگر ترکیب شدند، سپس با آب مقطر به حجم ۶۵ میلی‌لیتر آب مقطر ترکیب گردید [Noori et al, 2018].

۳-۲-۱-۶- اندازه‌گیری ذرات امولسیون با کمک DLS

اندازه ذرات (قطرات امولسیون) با کمک دستگاه DLS (ZEN3600, England) اندازه‌گیری گردید. برای انجام این کار چند قطره از نمونه را به کمک آب مقطر، به نسبت یک به هزار رقیق‌شده و داخل سل مخصوص تا خط نشانه اضافه گردید. سپس سل موردنظر را داخل دستگاه قرار گذاشته و با استفاده نرم‌افزار نصب‌شده روی کامپیوتر و متصل به زتاسایزر، نمودارها و اعداد مربوط دریافت شد [Noori et al, 2018].

۳-۲-۱-۷- آزمون‌های رئولوژی امولسیون

آزمون‌های رئولوژی با استفاده از دستگاه رئومتر (Modular Compact Rheometer، مدل Physica 302، کشور اتریش) مجهز به هندسه استوانه‌ای هم‌محور دوگانه (با ارتفاع ۴۰ میلی‌متر) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت [Salehi et al, 2015]. در این آزمون رابطه تنش برشی و ویسکوزیته مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳-۲-۳- تهیه فیلم‌های خوراکی

۳-۲-۳-۱- تهیه فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر

برای تهیه فیلم‌های پکتینی و پروتئین آب‌پنیر از روش سیلوا^۱ و همکاران (۲۰۱۸) با اندکی تغییرات استفاده شد. در این روش در ابتدا محلول‌های استوک به‌صورت جداگانه حاوی پکتین ۶ درصد و پروتئین آب‌پنیر ۸ درصد تهیه گردید. برای انجام این کار ۶ گرم پکتین و ۸ گرم پروتئین آب‌پنیر را وزن نموده و به‌صورت جداگانه با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد روی هات‌پلیت قرار داده شد و به کمک مگنت به‌خوبی هم زده شد تا حل گردد. پس از تهیه محلول‌ها، آن‌ها را در دمای محیط قرار داده تا خنک گردند. برای تهیه فیلم‌های خوراکی میزان ۲ درصد

¹-Silva

از محلول پکتین با ۵ درصد محلول پروتئین آب پنیر را با یکدیگر مخلوط گردید. سپس محلول ترکیب شده در دمای محیط روی هیتر قرار داده شد تا به هم بخورد. پس از سپری شدن مدت زمان ۱۰ دقیقه میزان ۲ گرم گلیسرول به آن اضافه گردید. پس از افزودن گلیسرول محلول به مدت ۵ دقیقه هم زده شد. سپس مجدد میزان ۱/۹۹ میلی لیتر سدیم کلراید به آن اضافه گردید. در نهایت میزان ۳ قطره توئین ۸۰ به آن اضافه شده و محلول موردنظر را به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد روی هیتر مخلوط گردید. پس از گذشت مدت زمان مذکور برای سرد کردن محلول موردنظر آن را به مدت ۱۵ دقیقه رو یخ قرا داده شد. پس از خنک شدن محلول موردنظر pH محلول را به کمک هیدروژن کلرید ۲۰ درصد به ۳ رسانده شد. برای جلوگیری از ایجاد حباب در فیلم های خوراکی محلول موردنظر را به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از سانتریفیوژ، محلول ها به پلیت ۸ سانتی متر منتقل گردیدند [Silvaa et al, 2018].

۳-۲-۳-تهیه فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر به همراه امولسیون اسانس آویشن به دست آمده از خشک کن پاششی نانو

در این روش پس از آماده سازی محلول فیلم به نسبت ۲ درصد پکتین و ۵ درصد وی پروتئین به میزان ۲/۵ درصد ماده خشک امولسیون اسانس آویشن حاصل از خشک کن پاششی نانو به آن اضافه گردید. سپس محلول موردنظر به مدت ۵ دقیقه در حمام فراصوت قرار گرفت. در نهایت محلول تهیه شده را در پلیت ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار گرفت [Almasi et al, 2020].

۳-۳-۲-تهیه فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر به همراه امولسیون اسانس آویشن به دست آمده از تغلیظ کننده تحت خلأ

برای تهیه فیلم های خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون آویشن به دست آمده از تغلیظ کننده تحت خلأ در ابتدا محلول فیلم تهیه (نسبت ۲ به ۵ پکتین به پروتئین آب پنیر) گردید. سپس امولسیون آویشن را به محلول فیلم افزوده و در نهایت محلول موردنظر به مدت ۵ دقیقه در حمام

فراصوت قرار گرفت. پس از انجام عمل فراصوت محلول موردنظر در درون پلیت‌های شیشه‌ای ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط نگهداری گردید تا فیلم تشکیل شود.

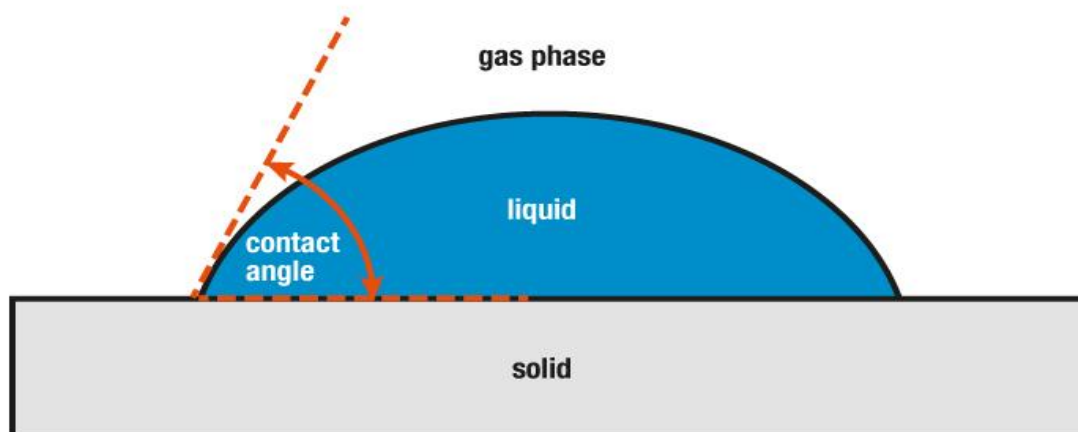
۳-۲-۳-۴- تهیه فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر به همراه امولسیون اسانس آویشن به‌دست‌آمده از توئین ۸۰

نوع سوم فیلم‌های تهیه‌شده مربوط به فیلم‌های خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون توئین ۸۰ می‌باشد. در این روش نیز مانند سایر روش‌های دیگر از محلول‌های فیلم به نسبت ۲ به ۵ پکتین به پروتئین آب‌پنیر گردید. سپس میزان ۲۵ میلی‌لیتر امولسیون توئین ۸۰ را به محلول فیلم اضافه نموده و محلول‌های ترکیب‌شده برای جلوگیری از ایجاد حباب در فیلم‌ها را به مدت ۵ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۳۰۰۰ RPM قرار گرفت. پس از اتمام سانتریفیوژ محلول موردنظر به مدت ۵ دقیقه در حمام فراصوت قرار گرفتند. درنهایت فیلم‌های خوراکی درون پلیت ریخته شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط قرار گرفتند [Almasi et al, 2020].

۳-۲-۴- آزمون‌های بعد از تهیه فیلم

۳-۲-۴-۱- اندازه‌گیری میزان آب‌دوستی به روش زاویه تماس آب

برای تعیین زاویه تماس، از روش قطره سیسیل که یک روش متداول در تعیین خصوصیت مرطوب شوندگی سطوح جامد بوده، استفاده شد. در این روش با استفاده از یک سرنگ، یک قطره آب مقطر بر روی سطح فیلم‌ها ریخته شد. سپس از زاویه تماس قطره ریخته شده با سطح فیلم‌ها با کمک دوربین Canon MV50 با زوم ۶ برابر تصویربرداری شد. درنهایت برای محاسبه میزان زاویه تماس قطره آب با سطح فیلم‌ها از نرم‌افزار (ImageJ)، استفاده گردید. محاسبه‌ی زاویه بین خط مماس بر قطره در نقطه‌ی تماس و خط رسم شده در راستای سطح فیلم، زاویه تماس را نشان می‌دهد. این آزمون در مورد هر کدام از فیلم‌ها سه بار تکرار شد [Ojagh et al, 2010]. شکل (۳-۱)، نحوی اندازه‌گیری زاویه تماس را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۳): شماتیک نحوی اندازه‌گیری زاویه تماس

۲-۳-۲-۴- بررسی ساختار فیلم تهیه‌شده و چگونگی پراکندگی ذرات در سطح فیلم‌ها با SEM

برای بررسی ساختار نمونه‌های حجیم در سطح یا نزدیک به سطح از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. در این مطالعه برای بررسی میزان تغییرات سطحی فیلم‌های تولیدی، ضخامت فیلم‌ها و همچنین چگونگی پراکندگی ذرات در سطح فیلم‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده گردید. برای انجام این آزمون از دستگاه (Ziees sigma 300-HV کشور آلمان) استفاده گردید (شکل ۲-۳). ولتاژ شتاب‌دهنده این دستگاه برابر با 0.2 kV - 30 kV کیلوولت بود. همچنین میزان وضوح تصویر این دستگاه برابر با 3072×2304 پیکسل می‌باشد [Zhou et al, 200].



شکل (۳-۳): دستگاه SEM

۳-۴-۲-۳- تعیین خواص مکانیکی فیلم تهیه شده

برای انجام این آزمون از دستگاه کشش ۲ تن مدل (STM-20) شرکت سنتام ساخت ایران استفاده گردید. در این آزمون در ابتدا فیلم‌های خوراکی به شکل مستطیل و به ابعاد 1×4 برش داده شدند. سپس دستگاه تنظیم گردید. در تنظیم دستگاه فاصله بین دو فک ۴۰ میلی‌متر و سرعت دو فک ۱ میلی‌متر بر دقیقه قرار داده شد [Zhou et al, 2009].

۴-۴-۲-۳- بررسی نفوذپذیری فیلم نسبت به بخار آب

نفوذپذیری فیلم نسبت به بخار آب مطابق با روش استاندارد (ASTM-96) انجام پذیرفت. برای انجام دادن این آزمون از شیشه‌های پنی‌سیلین که دارای قطر داخلی $2/3$ و ارتفاع ۵ سانتی‌متر استفاده گردید. در این روش در ابتدا شیشه‌های پنی‌سیلین به کمک ترازو وزن شدند، سپس میزان ۱۰ میلی‌لیتر آب را وزن کرده و به درون شیشه‌ها منتقل گردید. پس از انجام این عمل دهانه شیشه‌های پنی‌سیلین را به چسب آبی آغشته نموده و فیلم‌های موردنظر را که قبلاً به اندازه قطر بیرونی شیشه‌ها برش داده شد بودند را روی آن قرار داده، برای اطمینان از نبود درز، اطراف لب‌ها را با سلیفون پوشانیدیم و مجدد

شیشه‌های پنی‌سیلین را با کمک ترازو دارای دقت ۰/۰۰۰۱ وزن نموده و وزن‌ها ثبت گردیدند. این عمل به مدت سه روز و در فواصل زمانی معین (هر ۱۲ ساعت یک‌بار) انجام گردید. لازم به ذکر است که رطوبت نسبی هوا در روزهای مورد آزمون نیز اندازه‌گیری شد. میزان نفوذپذیری به بخار آب با توجه به فرمول (۱-۳) محاسبه گردید [ASTM, 1995].

$$WVP = \frac{\Delta m \times X}{A \times \Delta t \times \Delta p} \quad \text{فرمول (۱-۳)}$$

در معادله (۵-۳): Δm = افت وزنی مربوط به فنجان، X = ضخامت (m)، A = سطح در معرض و Δp = اختلاف فشار جزئی (KPa) بین درون و بیرون فنجان و Δt = زمان (S) می‌باشد.

۳-۲-۴-۵- اندازه‌گیری میزان انحلال‌پذیری و رطوبت فیلم‌های تولیدی

میزان انحلال‌پذیری و رطوبت فیلم‌های تولیدشده در آب با استفاده از روش کاک و همکاران (۱۹۹۶) و سلیوا و همکاران (۲۰۱۸) تعیین گردید. در این روش در ابتدا فیلم‌های تولیدشده در آون تحت دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا به‌طور کلی خشک گردند، پس از خشک شدن وزن اولیه آن‌ها ثبت گردید. سپس نمونه‌های فیلم‌های خشک‌شده در ظروف حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. ظروف موردنظر به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر با سرعت ۶۰ دور در دقیقه قرار گرفتند. پس از گذشت مدت‌زمان مذکور نمونه‌های موردنظر با کمک صافی، صاف گردیدند و مجدد در آون تحت دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا خشک شوند [Cuq et al, 1996, Silva et al, 2018]. در نهایت درصد حلالیت و میزان رطوبت فیلم‌های خوراکی با استفاده از فرمول (۲-۳) و (۳-۳) محاسبه گردید:

$$\%WS = \frac{w_0 - w_1}{w_0} \times 100 \quad \text{فرمول (۲-۳)}$$

در فرمول (۲-۳): WS (میزان حلالیت)، w_0 وزن اولیه فیلم‌های خوراکی خشک‌شده و w_1 وزن فیلم خشک‌شده پس از غوطه‌وری می‌باشد.

$$\text{فرمول (۳-۳)} \quad \%w = \frac{w_0 - w_1}{w_0} \times 100$$

در فرمول (۳-۳): (w) میزان رطوبت، (w₀) وزن اولیه فیلم‌های خوراکی و (w₁) وزن فیلم خشک‌شده پس خشک شدن می‌باشد.

۳-۲-۴-۶- اندازه‌گیری میزان رنگ فیلم‌های تولیدی

در این پژوهش برای بررسی میزان رنگ فیلم‌های تولیدی در ابتدا با استفاده از دوربین عکاسی دیجیتال در ۳ تکرار از نمونه‌ها عکس‌برداری شد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ شاخص‌های رنگی a, L, b و ΔE مورد ارزیابی قرار گرفت [Ojagh et al, 2010].

۳-۲-۴-۷- میزان نفوذپذیری نور در فیلم‌های خوراکی

در این روش در ابتدا فیلم‌های خوراکی به شکل مستطیل بریده شده و با استفاده از چسب نواری به یک طرف سل اسپکتروفتومتر چسبانده شد. در نهایت سل موردنظر به دستگاه طیف‌سنج نوری منتقل گردید و میزان جذب نوری فیلم‌ها در طیف (۷۰۰ نانومتر) اندازه‌گیری شد. همچنین از سل خالی به عنوان نمونه شاهد استفاده گردید [بهرام و همکاران، ۱۳۹۷].

۳-۳- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش اختلاف میان تیمارهای مختلف، بر اساس طرح کاملاً تصادفی با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) در سطح ۵٪ تعیین گردید. در این پژوهش مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام پذیرفت. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL نسخه ۲۰۱۹ انجام پذیرفت.

فصل چہارم

نتایج و بحث

۴-۱- بررسی مورفولوژی ذرات تولیدشده با استفاده از دستگاه SEM

شکل (۴-۱)، نمایی از زئین خالص به دست آمده را نشان می‌دهد. همچنین نتایج مربوط به بررسی مورفولوژی ذرات کیتوزان-زئین ذرت تولیدشده با استفاده از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ و دستگاه خشک‌کن پاششی نانو با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در شکل (۴-۲) نشان داده شده است. تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی اطلاعات بسیار مهمی را درباره چگونگی برهم‌کنش و پراکندگی بین اجزای تشکیل‌دهنده ذرات در اختیار قرار می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۴-۲)، تصویر مربوط به پودر حاصله از خشک‌کن پاششی نانو نشان داده شده است. در بعضی از نقاط ذرات حاصله از پودر خشک‌کن پاششی نانو به اندازه نانو ذره کوچک شده است و به راحتی قابل تفکیک می‌باشد. اما در تصویر مربوط به پودر حاصله از تغلیظ کننده تحت خلأ هیچ گونه تفکیکی نشان داده نشده است و ساختاری همگن و یکنواختی ایجاد گردیده است. سادات پیام (۱۳۹۷)، در طی پژوهشی بیان نمود که ذرات کیتوزان دارای خاصیت چسبندگی فراوانی می‌باشند و باعث ایجاد حالت کلوخه‌گی در محصول می‌گردد [سادات پیام، ۱۳۹۷]. علیزاده و همکاران (۱۳۹۶)، خواص فیزیکی و ضد میکروبی فیلم خوراکی کیتوزان حاوی اسانس صمغ بنه را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها در پژوهش خود بیان نمودند که افزودن اسانس صمغ بنه به فیلم خوراکی‌های تولیدشده منجر به کاهش پیوستگی و افزایش زبری فیلم‌های کیتوزان گردید [علیزاده و همکاران، ۱۳۹۶]. جوکی و همکاران (۲۰۱۴)، بیان نمودند که اضافه نمودن اسانس به فیلم‌های خوراکی منجر به ناهمگن شدن ساختار فیلم‌ها می‌گردد [Jouki et al, ۲۰۱۴]. مهدی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹)، در طی مطالعه‌ای ویژگی‌های فیلم آنتی‌اکسیدانی کیتوزان-زئین حاوی عصاره هیدروالکلی آزاد و درون‌پوشانی شده گیاه کک‌کش بیابانی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که ساختار کیتوزان-زئین دارای سطح صاف و یکنواختی می‌باشد و تجمع بزرگی از نانوذرات در ریزساختار مشاهده نگردید [مهدی‌زاده و همکاران،

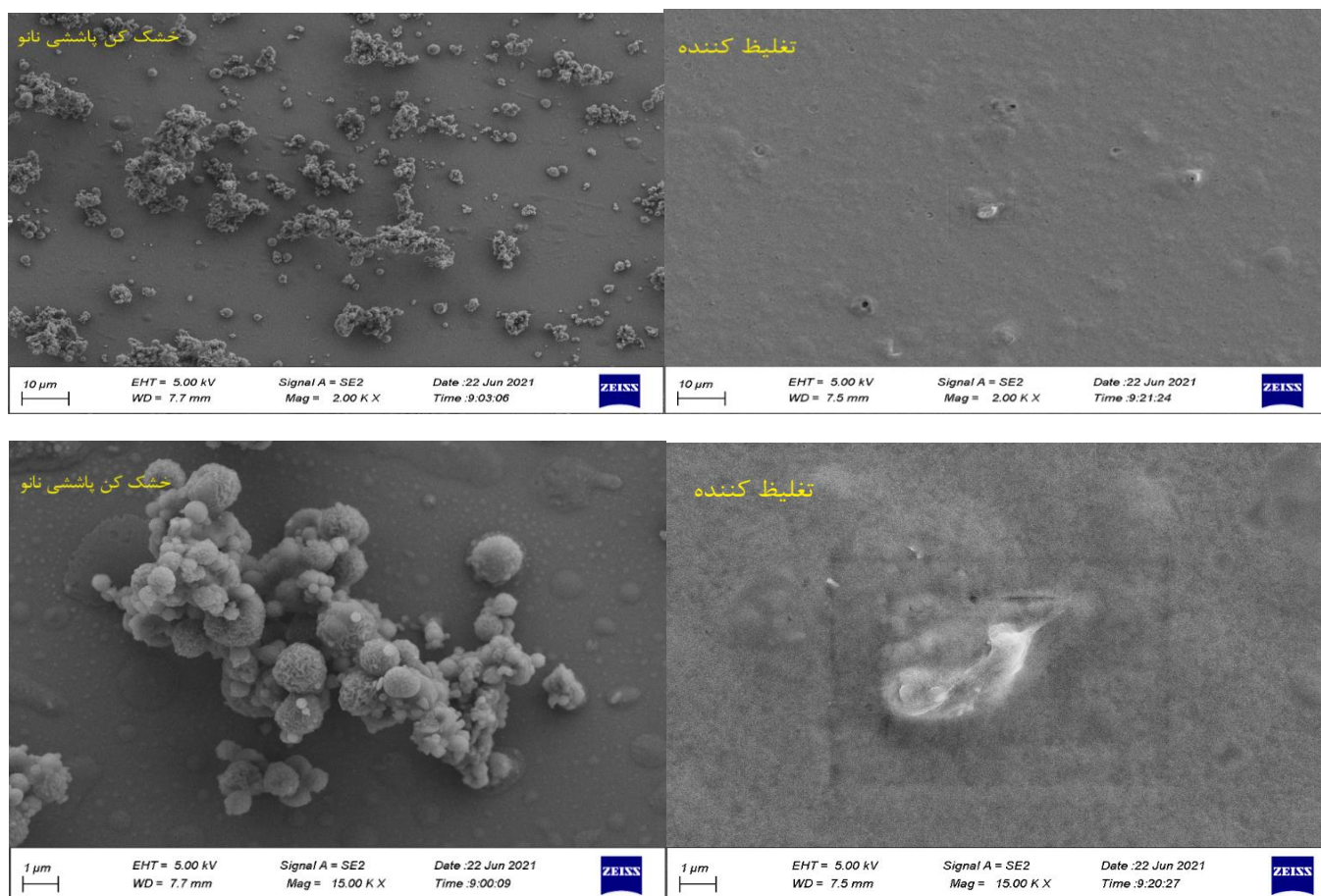
۱۳۹۹]. البادرین^۱ و همکاران (۲۰۱۹)، بالدریک^۲ و همکاران، (۲۰۱۰)، در طی پژوهش‌های خودشان بیان نمودند که ذرات کیتوزان نامنظم می‌باشد، که این ذرات دارای اندازه متوسط تقریباً ۳۰ میکرومتر و دارای سطحی ناهموار و دارای منافذ هستند [Albadarin et al, 2019; Baldrick, 2010]. نمودارهای مربوط به عناصر تشکیل‌دهنده ذرات کیتوزان و زئین ذرت به‌دست‌آمده از روش خشک‌کن پاششی نانو و تغلیظ کننده تحت خلأ در شکل (۴-۳)، آورده شده است. این عناصر بخشی از داده‌های SEM است. نتایج نشان داد که بیشترین عنصر در هر دو ذرات مربوط به عنصر کربن بوده است اما میزان این عنصر در پودر حاصله از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ بیشتر از دستگاه خشک‌کن پاششی نانو بود. میزان عنصر اکسیژن موجود در پودر حاصله از خشک‌کن پاششی نانو بیشتر از پودر حاصله از تغلیظ کننده تحت خلأ بود. همچنین نتایج نشان داد که عناصر فسفر، پتاسیم و کلر در پودر حاصله از خشک‌کن پاششی نانو وجود دارد اما پودر حاصله از تغلیظ کننده تحت خلأ فاقد این عناصر می‌باشد. جدول مربوط به درصد عناصر تشکیل‌دهنده پودرهای حاصله از خشک‌کن پاششی نانو و تغلیظ کننده تحت خلأ همرا با آن در جدول شماره (۴-۱) آورده شده است. در پودر حاصل از تغلیظ کننده چون کیتوسان محلول هست بعد از خشک شدن روی سطح قرار می‌گیرد و چون دستگاه SEM عناصر سطحی رو اندازه گیری می‌کند در نتیجه عناصر فسفر، پتاسیم و کلر که در زئین هست دیده نمی‌شود. ولی در پودر حاصل از خشک‌کن پاششی نانو بین زئین و کیتوسان ترکیب ایجاد شده و روی سطح عناصر فوق دیده می‌شود. علت وجود این عناصر نیز به دلیل عدم خلوص کامل زئین می‌باشد.

¹ Albadarin

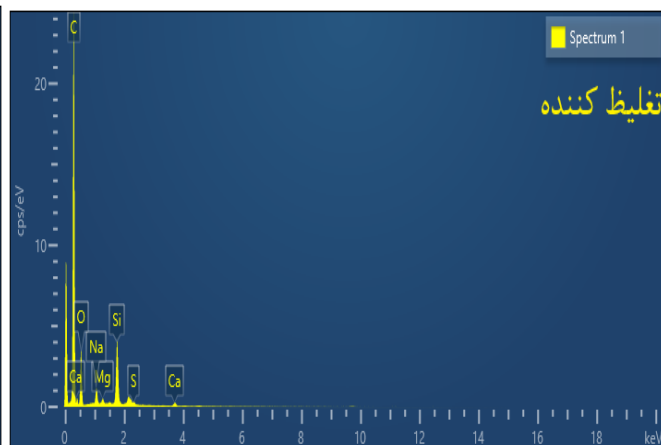
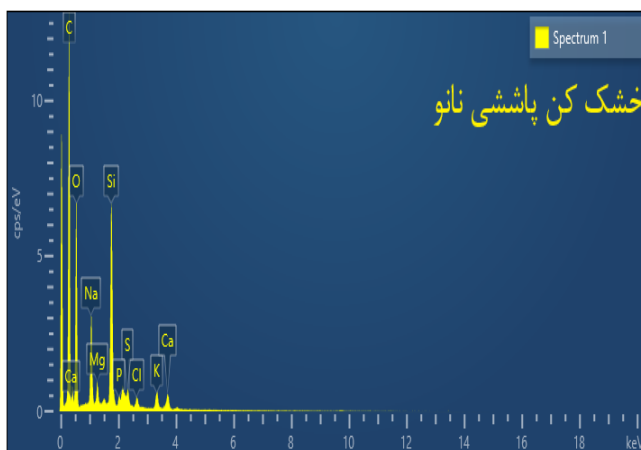
² Baldrick



شکل (۴-۱): زئین خالص



شکل (۴-۲): تصویر سطح مقطع میکروسکوپ الکترونی روبشی ذرات کیتوازن و زئین ذرت تولیدشده با استفاده از دستگاه خشک کن پاششی نانو و دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ همراه با آون.



شکل (۴-۳): نمودار عناصر تشکیل دهنده ذرات کیتوازن و زئین ذرت تولیدشده با استفاده از دستگاه خشک کن پاششی نانو و دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ همراه با آون.

جدول (۴-۱) عناصر تشکیل دهنده پودرهای حاصله از خشک کن پاششی نانو و تغلیظ کننده تحت خلأ همراه با آون

بخشی از داده های (SEM)

عنصر	پودر خشک کن پاششی نانو %	تغلیظ کننده تحت خلأ همراه با آون %
C	۶۹/۳۳	۷۹/۶۲
O	۲۵/۴۴	۱۷/۷۵
Na	۱/۶۲	۰/۶۸
Si	۲/۲۵	۱/۵۶
K	۰/۲۸	-----
Ca	۰/۲۸	۰/۱۵
S	۰/۲۴	۰/۰۹
Cl	۰/۱۴	-----
Mg	۰/۳۰	۰/۱۴
P	۰/۱۳	-----

۴-۲- نتایج اندازه‌گیری ذرات امولسیون با کمک DLS

یکی از روش‌های فیزیکی غیر مخرب برای تعیین توزیع و اندازه ذرات موجود در محلول‌ها و امولسیون‌ها، استفاده از روش پراکندگی نور دینامیکی (DLS) می‌باشد. در این روش از تابش نور مرئی استفاده می‌شود. به‌طور کلی DLS شدت نور پراکنده شده موجود در سوسپانسیون را اندازه‌گیری می‌نماید. در شکل (۴-۴)، نمایی از امولسیون‌های تولیدی نشان داده شده است. در نمودار (۴-۱-الف)، اندازه ذرات امولسیون‌های تولیدی با استفاده از روش‌های خشک‌کن پاششی نانو، تغلیظ کننده تحت خلأ و توئین ۸۰ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌گردد، بیشترین اندازه ذرات مربوط به امولسیون تولیدشده با استفاده از پودر به‌دست‌آمده از دستگاه خشک‌کن پاششی نانو بود و کمترین اندازه ذرات مربوط به امولسیون تولیدشده با استفاده از توئین ۸۰ می‌باشد. همچنین هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری در سطح ($p > 0/05$)، در میان نمونه‌ها مشاهده نگردید. در آنالیز DLS شاخصی به نام پراکندگی (PdI) وجود دارد که بیانگر پراکندگی ذرات به‌صورت یکنواخت یا غیریکنواخت می‌باشد. در نمودار (۴-۱-ب)، میزان پراکندگی کمتر از ۰/۱ را نشان می‌دهد. این پارامتر به این معنی است که پراکندگی ذرات درون محلول یکنواخت و قابل قبول است. همان‌گونه که در نمودار (۴-۱-ب)، نشان داده شده است، کمترین میزان پراکندگی در نمونه‌ها مربوط به نمونه امولسیون تولیدشده با استفاده از پودر حاصل از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ و بیشترین میزان پراکندگی مربوط به نمونه امولسیون تولیدشده با استفاده از دستگاه خشک‌کن پاششی نانو بود. میزان پراکندگی در نمونه‌های امولسیون تولیدشده با استفاده از پودر حاصله خشک‌کن پاششی نانو و توئین ۸۰ فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح ($p < 0/05$) می‌باشد. اما میزان پراکندگی در نمونه امولسیون تولیدشده با استفاده از پودر حاصله از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ دارای اختلاف معنی‌داری با سایر نمونه‌ها بود. نمودار (۴-۱-پ)، بیانگر این مسئله است که میزان پراکندگی بین $0/5 < PdI \leq 0/1$ می‌باشد و پراکندگی ذرات به‌صورت یکنواخت و قابل قبول می‌باشد. همان‌گونه که در این نمودار مشاهده می‌گردد، میزان پراکندگی در نمونه‌های امولسیون تولیدشده با استفاده از پودر حاصله خشک‌کن پاششی نانو و توئین ۸۰ فاقد اختلاف

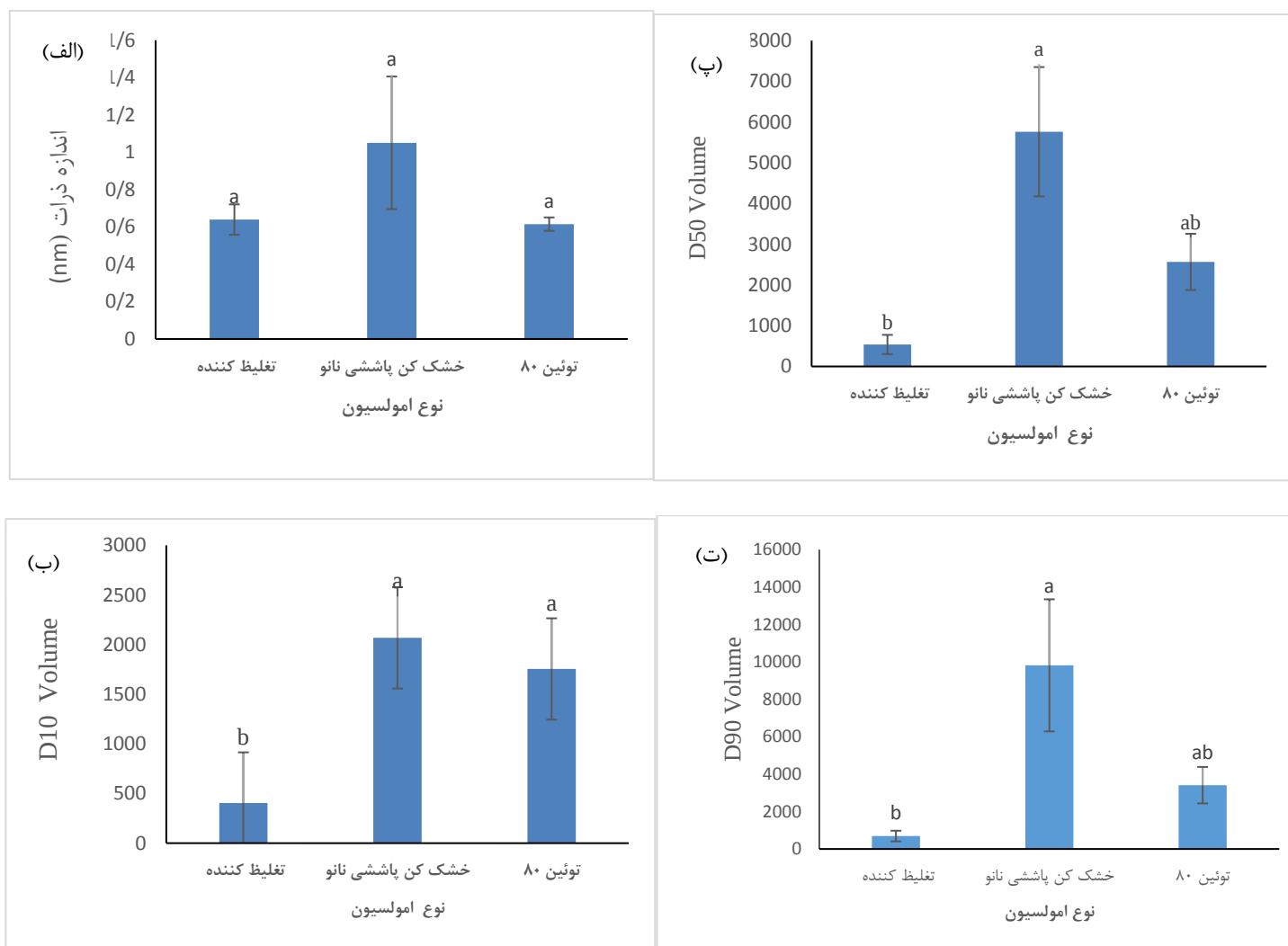
معنی‌داری در سطح ($p>0/05$)، می‌باشد. اما میزان پراکندگی در نمونه امولسیون تولیدشده با استفاده از پودر حاصله از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ دارای اختلاف معنی‌داری با سایر نمونه‌ها بود. نمودار (۱-۴-ت)، مربوط به ذرات آگلومره (چسبیدن ذرات به همدیگر) می‌باشد. این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که میزان پراکندگی $pDI \geq 0/5$ باشد. این پارامتر بیان می‌نماید که میزان ذرات در نمونه‌های امولسیون تولیدشده به‌خوبی پراکنده نشده و نتایج آن غیرقابل قبول می‌باشد. همان‌گونه که در نمودار (۴-۱-ت)، نشان داده شده است. بیشترین میزان این پارامتر در امولسیون تولیدشده با استفاده از پودر خشک‌کن پاششی نانو مشاهده گردید. کمترین میزان آن در نمونه تولیدشده با استفاده از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ مشاهده گردید. میان نمونه‌های امولسیون تولیدشده از پودر حاصل از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ و خشک‌کن پاششی نانو تفاوت معنی‌داری ($p>0/05$)، مشاهده گردید. تومازلی جونیورا^۱ و همکاران (۲۰۱۸)، میکروانکپسولاسیون اسانس آویشن با استفاده از خشک‌کن پاششی نانو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش این محققین نشان داد که میانگین اندازه ذرات تولیدشده با استفاده از خشک‌کن پاششی نانو برابر با ۱۰/۳۷ میکرون بود [Tomazelli Júnior et al, 2018]. بهاتی و همکاران (۲۰۲۱)، اثر ضد باکتریایی عصاره اتانولی آویشن و دارچین در درمان آکنه ولگاریس را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که اندازه وزیکول آویشن و دارچین از طریق DLS به ۲۹۰/۰۸-۴۲۱ نانومتر و ۲۴۹/۳-۳۲۵/۰۸ نانومتر بود [Bhati et al, 2021]. رضوی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴)، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی میکروامولسیون روغن سبوس برنج در آب را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در ابتدا امولسیون روغن سبوس برنج در آب با دو بیوپلیمر صمغ عربی و پروتئین آب‌پنیر تغلیظ شده در نسبت‌های مختلف این دو و در حضور توپین ۸۰ با و بدون استفاده از امواج فراصوت تهیه نمودند. آن‌ها گزارش نمودند که با افزایش میزان غلظت توپین ۸۰ اندازه قطرات امولسیونی

¹ Tomazelli Júnior

نیز کاهش یافت [رضوی زاده و همکاران، ۱۳۹۴]. نتایج حاصل از پژوهش این محققین با پژوهش حاضر مطابقت داشت.



شکل (۴-۴): سمت چپ: امولسیون تولید شده با استفاده از پودر به دست آمده پاششی، وسط: امولسیون تولید شده با استفاده از پودر به دست آمده تغلیظ کننده تحت خلأ، سمت راست: امولسیون تولید شده با استفاده از توئین ۸۰.



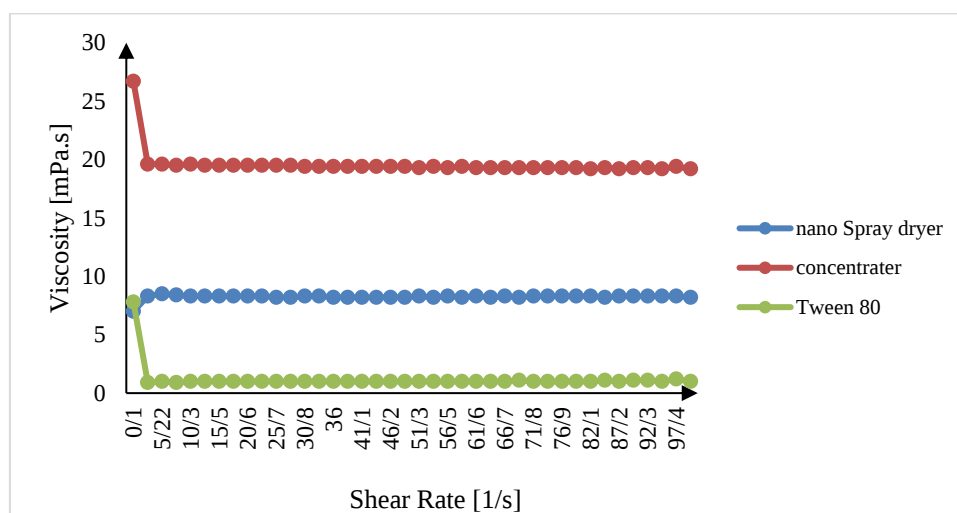
نمودار (۴-۱): تأثیر نوع امولسیون بر پراکندگی ذرات (اندازه ذرات (الف)، D10 Volume (ب)،

D50 Volume (پ)، D90 Volume (ت)).

۴-۳- نتایج آزمون‌های رئولوژی امولسیون

به‌طور کلی امولسیون‌ها به تعلیق‌های کلوئیدی گفته می‌شود که حداقل دارای دو مایع باشند که به‌صورت خود به خودی نتوانند با یکدیگر مخلوط گردند. امولسیون‌ها از قطرات پراکنده یک مایع (فاز معلق یا فاز داخلی) در یک مایع دیگر (فاز پیوسته یا فاز خارجی) تشکیل می‌شوند [Gutiérrez et al, 2008]. اغلب ویژگی‌های و خصوصیات امولسیون‌ها مانند پایداری، رئولوژی، ظاهر، رنگ و بافت آن‌ها به‌اندازه

قطرات امولسیون و توزیع اندازه قطرات بستگی دارد [McClements, 1999]. در این پژوهش رفتار رئولوژیکی امولسیون‌های تهیه‌شده با استفاده از دستگاه رئومتر تعیین و به‌صورت نمودار (۲-۴)، در زیر نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که امولسیون‌های به‌دست آمده در گستره وسیعی از سرعت برش، همانند یک سیال نیوتنی رفتار می‌کند. این امر را می‌توان با توجه به نمودار (۲-۴) بر اساس تغییرات تنش برشی بر حسب نرخ برش خطی می‌باشد که در آن گراندرویی با افزایش نرخ برش تقریباً ثابت می‌ماند، توجیه نمود. این نتایج در تطابق با یافته‌های قسمت‌های قبلی است. ویسکوزیته بودن تحت تأثیر زئین و کیتوزان قرار گرفت است. در نمودار (۲-۴)، در نمونه تغلیظ شده تحت خلأ رشته‌های کیتوزان در فضای بینابینی پخش شده است و کیتوزان به صورت آزاد در محلول وجود دارد که سبب افزایش ویسکوزیته شده است اما در نمونه به دست آمده از خشک کن پاششی کیتوزان با زئین ترکیب شده است و سبب شده است ایجاد حالت ذره مانند شده است و همین امر سبب شده است که کیتوزان کمتر به صورت محلول باشد و میزان پخش شدگی آن نسبت به نمونه تغلیظ کننده تحت خلأ کمتر است. در نمونه توئین به دلیل عدم وجود کیتوزان و زئین میزان ویسکوزیته از سایر نمونه‌ها کمتر است.



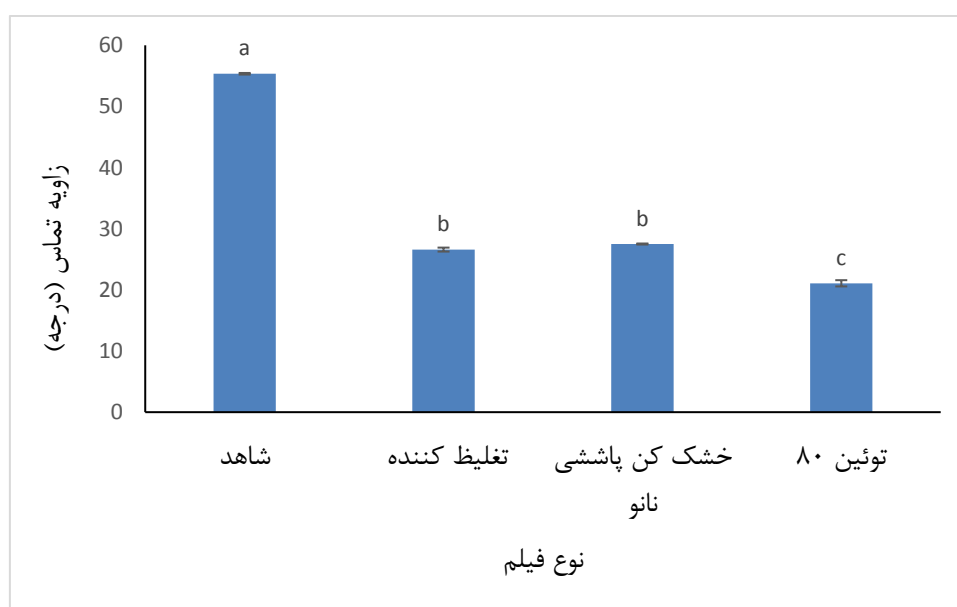
نمودار (۲-۴): رابطه ویسکوزیته - سرعت برشی بر امولسیون‌های تولیدی به‌دست آمده از توئین

۸۰، تغلیظ کننده تحت خلأ و دستگاه خشک کن پاششی نانو.

۴-۴- نتایج اندازه‌گیری میزان آب‌دوستی به روش زاویه تماس آب

بسیاری از پژوهشگران سطوح را بر اساس اندازه زاویه تماس به سه دسته کلی تقسیم می‌نمایند. دسته اول مربوط به سطوحی است که میزان زاویه تماس آن‌ها کمتر از ۳۰ درجه می‌باشد. در این گروه قطره آب سطح موردنظر را به‌صورت کامل مرطوب می‌نماید و سطح نم‌پذیر خواهد بود. دسته دوم مربوط به گروهی است که اندازه زاویه تماس آن‌ها بین ۳۰ تا ۸۹ درجه می‌باشد. در این گروه سطح موردنظر به‌صورت نسبی نم‌پذیر می‌باشد. و دسته سوم مربوط به گروهی است که اندازه زاویه تماس آن‌ها بیش از ۹۰ درجه می‌باشد، این گروه به نام سطوح آب‌گریز معروف هستند. به‌طور کلی زاویه تماس به زاویه‌ای گفته می‌شود که از تقاطع دو خط مورب به سطح (مایع یا جامد) در محل تماس با هوا تشکیل می‌گردد و ملاکی از میزان آب‌گریزی سطح مورد مطالعه می‌باشد [Rodrigues et al, 2016]. در پژوهش حاضر میزان زاویه تماس نمونه شاهد در حدود ۵۵ درجه و برای سایر نمونه‌ها کمتر از ۳۰ درجه بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز واریانس نمونه‌ها می‌توان گفت که فیلم ترکیبی پکتین- پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون آویشن نم‌پذیر می‌باشد. نمودار (۴-۳)، نتایج اندازه‌گیری میزان آب‌دوستی به روش زاویه تماس آب نمونه‌های فیلم‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در نمودار (۴-۳)، نشان داده شده است میزان زاویه تماس در تمامی نمونه‌ها به جزء نمونه شاهد کاهش یافت. کمترین میزان زاویه تماس مربوط به فیلم خوراکی حاوی امولسیون آویشن حاصل از توئین ۸۰ با اندازه زاویه تماس ۲۱/۰۷ درجه می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که زاویه تماس سطح توسط آب با افزایش میزان آب‌گریزی سطح، زیاد می‌شود. میزان زاویه تماس فیلم شاهد با سایر نمونه‌ها دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ($p < 0/05$) بود. همچنین نتایج نشان داد که زاویه تماس میان فیلم‌های خوراکی حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ و دستگاه خشک‌کن پاششی نانو هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری ($p > 0/05$)، مشاهده نمی‌گردد. خانزاده (۱۳۹۱)، در طی پژوهش خود بیان نمود افزایش مقدار پولالان سبب کاهش زاویه تماس و افزایش مقدار آب‌پنیر سبب افزایش آب‌گریزی می‌گردد که این امر مربوط به وجود مقادیر بالاتر گروه‌های هیدروکسیل در پولالان نسبت به آب‌پنیر می‌باشد که

منجر به افزایش ظرفیت جذب آب و ایجاد پیوندهای هیدروژنی با مولکول‌های آب می‌گردد [خانزاده، ۱۳۹۱]. قنبرزاده و همکاران (۱۳۸۸)، تأثیر اسید اولئیک و گلیسرول بر ویژگی‌های نفوذپذیری زاویه تماس و ظاهری فیلم‌های خوراکی حاصل از کربوکسی متیل سلولز را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که اسید اولئیک ویژگی آبگریزی سطح (زاویه تماس) فیلم‌ها را افزایش می‌دهد اما گلیسرول باعث کاهش آبگریزی سطحی می‌شود. همچنین آن‌ها بیان نمودند که افزایش میزان گلیسرول در فیلم‌های حاوی اسید اولئیک سبب کاهش زاویه تماس گردید. نتایج حاصل از پژوهش این محققین با این پژوهش همخوانی داشت [قنبرزاده و همکاران، ۱۳۸۸].



نمودار (۴-۳): زاویه تماس نمونه‌های فیلم‌های خوراکی پکتین و پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون

آویشن به‌دست‌آمده از ذرات زئین - کیتوزان و توئین ۸۰.

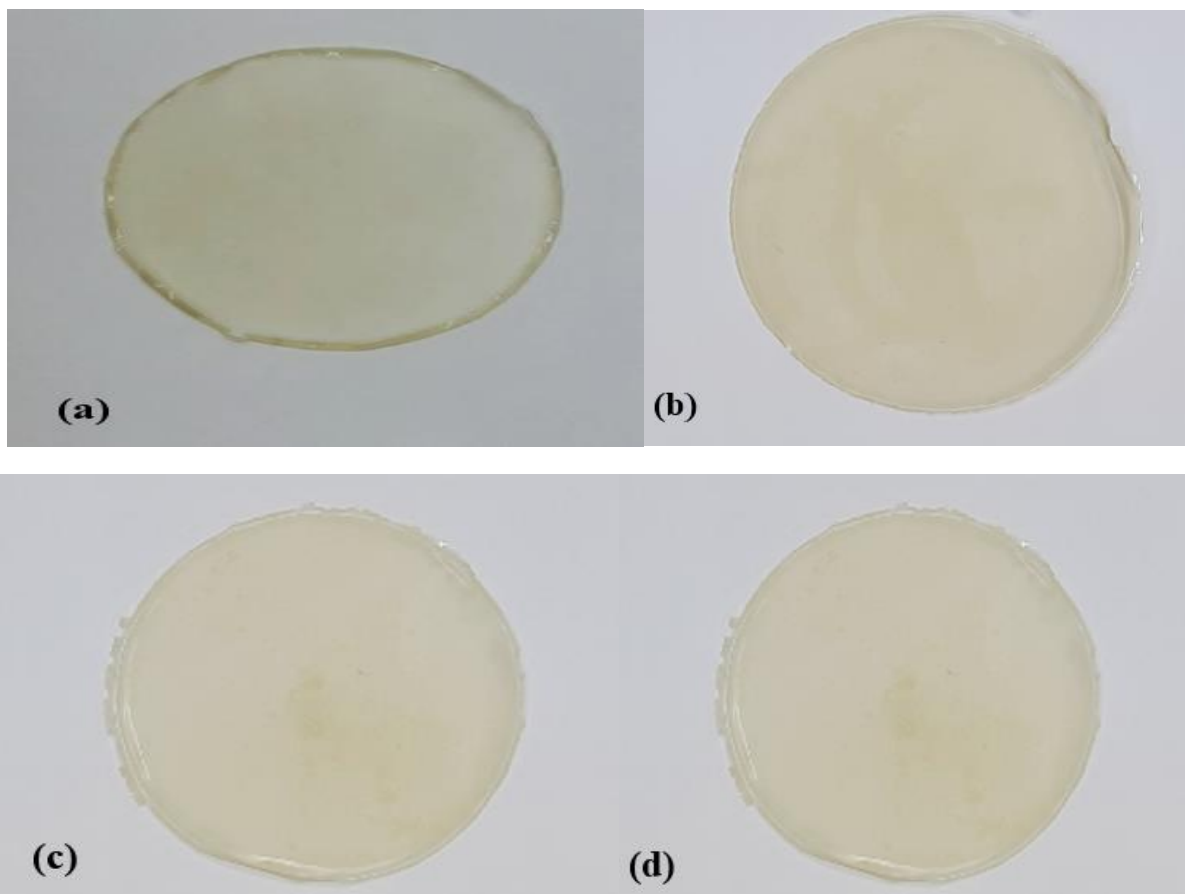
۴-۵- نتایج بررسی ساختار فیلم تهیه‌شده و چگونگی پراکندگی ذرات در سطح فیلم‌ها با

SEM

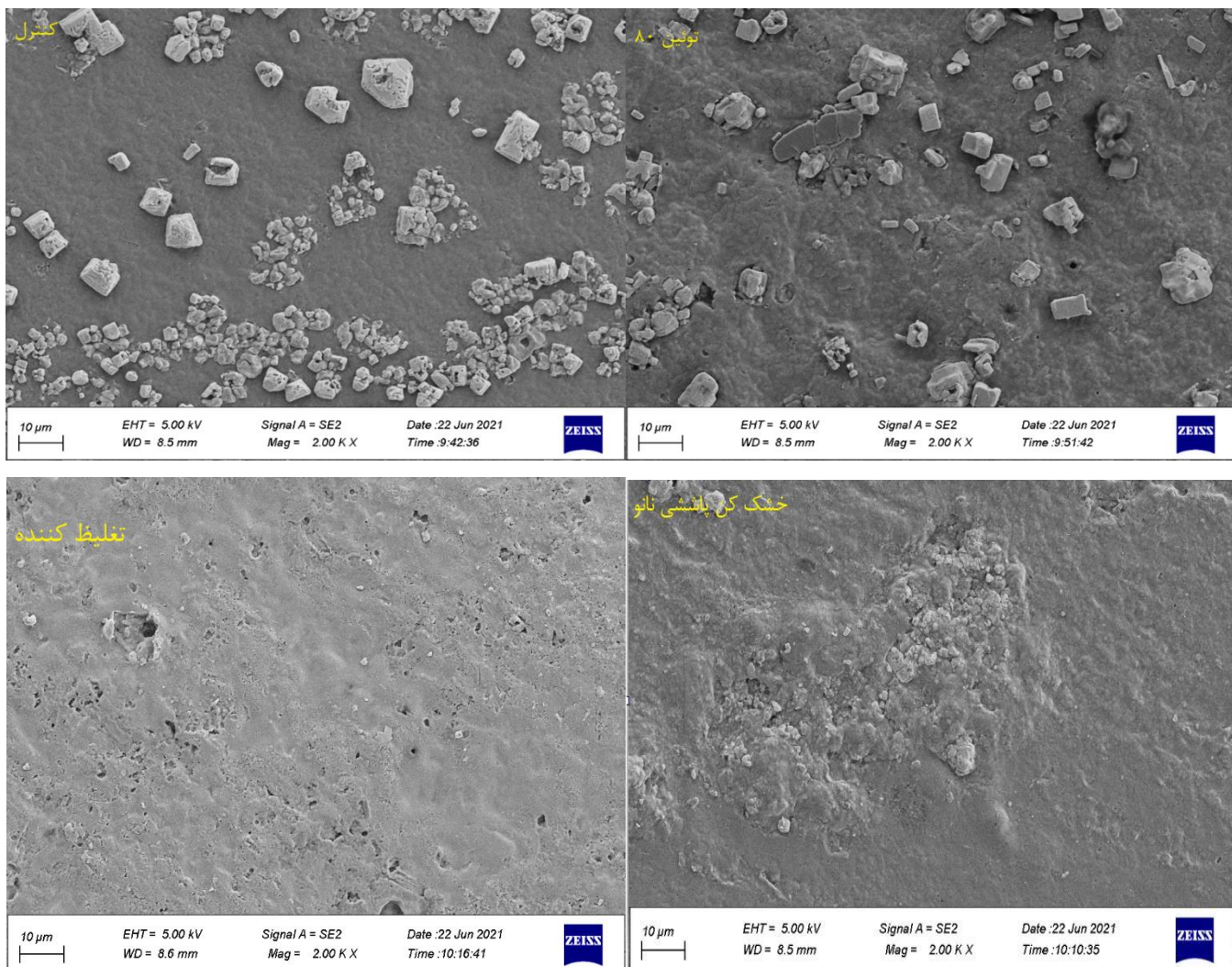
در شکل (۴-۵)، نمایی از فیلم‌های تولیدی آورده شده است. در شکل (۴-۶)، نتایج بررسی ساختار فیلم خوراکی ترکیبی بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون‌های آویشن تهیه‌شده با روش‌های (دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ، خشک‌کن پاششی نانو و توئین ۸۰) و چگونگی پراکندگی ذرات در

سطح فیلم‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داده شده است. در نمونه شاهد (کنترل)، ساختار یکنواخت و همگن در سطح فیلم مشاهده نمی‌گردد. همان‌گونه که در تصویر مشخص است با اضافه نمودن امولسیون آویشن حاصله از توئین ۸۰ از میزان زبری و خشنی نمونه فیلم کاسته شد. فیلم حاوی امولسیون آویشن حاصل از تغلیظ کننده تحت خلأ دارای پخش یکنواختی بوده و میزان زبری این فیلم نسبت به سایر فیلم‌های تولیدی بسیار کمتر بود. این مسئله ناشی از توزیع یکنواخت قطرات امولسیون آویشن حاصله از پودر تغلیظ کننده تحت خلأ و پایداری مناسب این امولسیون در طی فرآیند تولید فیلم می‌باشد. فیلم‌های حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از پودر خشک‌کن پاششی نانو با وجود داشتن ساختار زبر همانند فیلم‌های کنترل و توئین ۸۰، اما دارای پخش یکنواخت‌تر نسبت به این دو فیلم بود. ضخامت فیلم‌های تولیدی یکی از عوامل مهم و با اهمیت بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد که بر ویژگی‌های میکروبی و افزایش عمر ماندگاری مواد غذایی اثر می‌گذارد. تصاویر مربوط به ضخامت فیلم‌های تولیدی در شکل (۴-۷) آورده شده است. نتایج نشان داد که کمترین میزان ضخامت در فیلم‌های تولیدی مربوط به نمونه شاهد با اندازه ۹۴/۳۴ میکرومتر بود. با افزودن امولسیون‌های آویشن به‌دست‌آمده از دستگاه خشک‌کن پاششی نانو، تغلیظ کننده تحت خلأ و توئین ۸۰ میزان ضخامت فیلم‌های تولیدی افزایش یافت و این بدان معنا است که توزیع امولسیون آویشن در فیلم‌های خوراکی منجر به افزایش حجم فیلم‌ها گردید. بیشترین میزان ضخامت مربوط به فیلم‌های خوراکی تولیدشده حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از تغلیظ کننده تحت خلأ با میزان ضخامت ۱۲۲ میکرومتر بود. قنبرزاده و همکاران (۲۰۰۸)، در طی پژوهشی خواص مکانیکی فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر کامپوزیت بر پایه پروتئین آب‌پنیر و زئین ذرت را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان نمودند که میزان زبری سطح فیلم‌های خوراکی تهیه‌شده بر پایه زئین ذرت حاوی نرم‌کننده گلیسرول برابر ۱۹/۷ نانومتر و میزان زبری فیلم خوراکی پروتئین آب‌پنیر حاوی گلیسرول برابر ۷۹/۱ میکرولیتر بود [et Ghanbarzadeh, 2008]. اما در مورد عناصر در فیلم‌ها در فیلم شاهد و توئین به دلیل عدم حضور کیتوسان و زئین عناصر پتاسیم و فسفر دیده نشده است و احتمالاً دو عنصر گوگرد و کلسیم نیز از این دو زئین عناصر

پتاسیم و فسفر دیده نشده است و احتمالاً دو عنصر ترکیب نشات گرفته است. همچنین علت بالا بود سدیم و کلر در فیلم شاهد و توئین نیز احتمالاً به دلیل کریستاله شدن نمک روی سطح فیلم بوده که باعث شده درصد کرین سطح فیلم کاهش محسوسی نسبت به دو فیلم دیگر داشته باشد ولی در دو فیلمی که با امولسیون کیتوسان و زئین پیکرینگ شده است نمک روی سطح نیامده و اثر این این دو ماده روی سطح مشهود تر بوده است. زنگانه (۱۳۹۴)، در طی پژوهش خود بیان نمود که فیلم تولیدی با استفاده از پروتئین آب‌پنیر دارای سطحی همگن، پیوسته و یکنواخت ولی ناصاف، به شکل تاول‌های ریز بود [زنگانه، ۱۳۹۴]. هوانگ (۲۰۰۱)، در طی پژوهشی اثر ۱۴ هیدروکلئید به‌دست‌آمده از صمغ‌های مختلف را بر ویژگی‌های امولسیون موردبررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش دادند که اضافه نمودن صمغ سبب کاهش اندازه ذرات و پایداری امولسیون‌ها می‌گردد [Huang, 2001]. سادات حسینی و همکاران (۱۳۹۲)، اثر صمغ دانه بالنگو شیرازی و پروتئین آب‌پنیر بر پایداری امولسیون روغن در آب را موردبررسی قرار دادند. آن‌ها بیان نمودند که با افزایش غلظت صمغ تا ۰/۱۵ درصد اندازه ذرات کاهش یافت اما پس از آن اندازه ذرات افزایش یافت [سادات حسینی و همکاران، ۱۳۹۲]. سیلوا و همکاران (۲۰۱۸)، آن‌ها بیان نمودند که افزودن پکتین باعث تغییر قابل‌توجهی در آرایش ساختار سطح فیلم پروتئین آب‌پنیر گردید. آن‌ها بیان نمودند که ساختار فیلم‌های پروتئین آب‌پنیر فاقد پکتین دارای یک سطح صاف پیوسته و ساختار همگن‌تری نسبت به فیلم‌های با افزودن پکتین نشان می‌دهد، زیرا با افزایش غلظت پکتین، ناهمگنی ساختار فیلم افزایش می‌یابد [Silva et al, 2018]. جدل (۲-۴) عناصر تشکیل‌دهنده فیلم‌های خوراکی حاوی امولسیون آویشن را نشان می‌دهد.



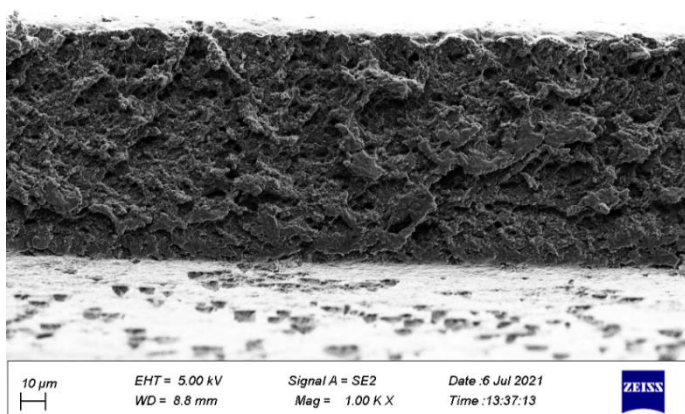
شکل (۴-۵): فیلم‌های خوراکی تولید شده بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر: نمونه شاهد (a)، نمونه تولید شده به همراه اسانس آویشن به شکل امولسیون پایدار شده با ذرات زئین-کیتوزان به دست آمده از خشک کن پاششی نانو (b)، نمونه تولید شده به همراه اسانس آویشن به شکل امولسیون پایدار شده با ذرات زئین-کیتوزان به دست آمده از تغلیظ کننده تحت خلأ (c)، نمونه تولید شده به همراه اسانس آویشن به شکل امولسیون پایدار شده با توئین ۸۰ (d).



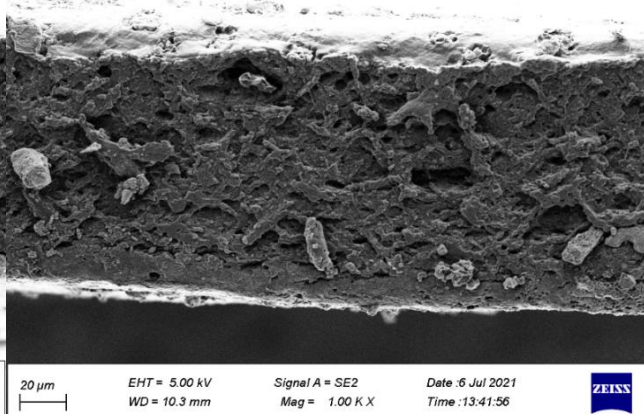
شکل (۴-۶): تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM)، نمونه‌های فیلم‌های خوراکی پکتین و پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از ذرات زئین-کیتوزان و توئین ۸۰.

در مورد عدم وجود عناصر گوگرد، کلسیم، پتاسیم و فسفر در دو فیلم شاهد و حاوی توئین احتمالاً به دلیل وجود امولسیون به دست آمده از ذرات زئین و کیتوزان در فیلم می‌باشد. در صورتی که در دو فیلم دیگر این ذرات قابل مشاهده است. همچنین عناصر موجود در آزمون SEM در مورد امولسیون با خشک کن پاششی نانو و تغلیظ کننده تحت خلأ به همراه آن دیده می‌شود. همچنین در دو فیلم شاهد و توئین به دلیل NaCl ذرات بلوری و کریستاله شده در سطح فیلم احتمالاً به دلیل کریستاله‌های نمک می‌باشد ولی در دو فیلم دیگر ترکیبات NaCl کمتر دیده می‌شود، احتمالاً این نکته به دلیل پیکرینگ بوده که اجازه تشکیل بلور را در سطح نداده و موجب سطح صاف‌تر گردیده است.

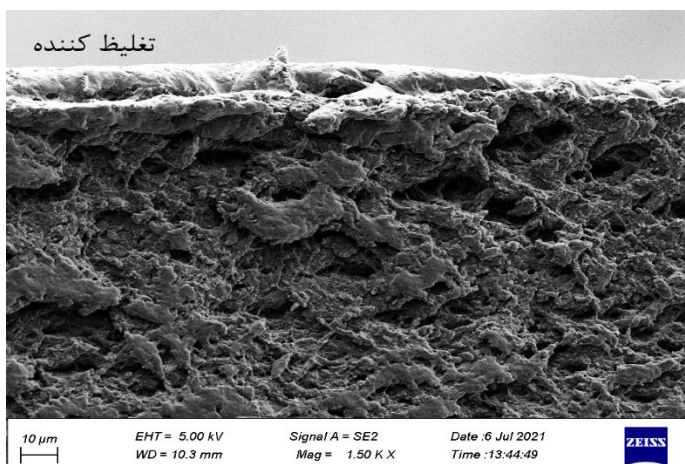
شاهد



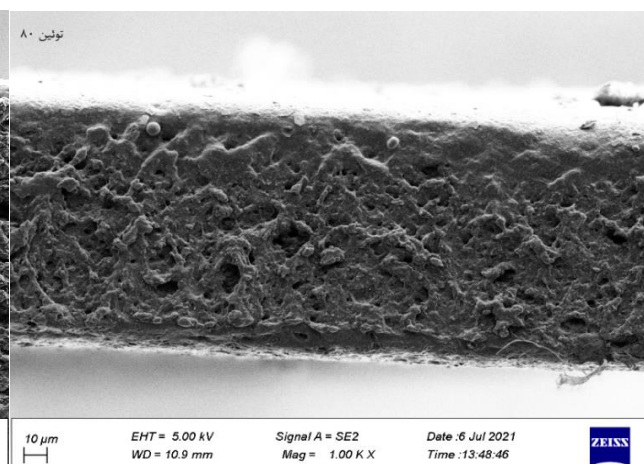
خشک کن پاششی نانو



تغلیظ کننده



توئین ۸۰



شکل (۷-۴): تصاویر ضخامت نمونه‌های فیلم‌های خوراکی پکتین و پروتئین آب‌پنیر حاوی امولسیون آویشن به‌دست آمده از ذرات زئین- کیتوزان و توئین ۸۰ با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM).

جدل (۴-۲) عناصر تشکیل دهنده فیلم های خوراکی حاوی امولسیون آویشن (بخشی از داده های SEM)

خشک کن پاششی نانو	تغلیظ کننده تحت خلأ	توئین	شاهد	عناصر
۷۱/۴۸	۷۹/۲۸	۴۱/۰۷	۴۴/۶۹	C
۱۹/۷۰	۱۵/۳۷	۵/۱۹	۶	O
۴/۲۲	۳/۲۵	۲۳/۹۷	۲۲/۲۰	Cl
۴/۳۶	۱/۳۹	۲۹/۷۷	۲۷/۱۱	Na
۰/۱۰	۰/۲۹	-----	-----	S
۰/۰۷	۰/۱۹	-----	-----	K
۰/۰۳	۰/۱۳	-----	-----	Ca
۰/۰۴	۰/۱۰	-----	-----	P

۴-۶- نتایج بررسی نفوذپذیری فیلم نسبت به بخار آب

یکی از مهم ترین شاخص های مهم موجود در فیلم های خوراکی مورد استفاده در بسته بندی های مواد غذایی نفوذپذیری این فیلم ها به بخار آب می باشد. مکانیسمی که در نفوذ بخار آب از طریق فیلم رخ می دهد، انتشار است که در آن بخار در ماتریس فیلم از سمت غلظت بالا به سمت غلظت کوچک تر حل می شود. ساختار و ویژگی های فیلم تعیین می کند که نفوذ آن چگونه خواهد بود (کستر^۱ و همکاران، ۱۹۸۶). هنگامی که پروتئین گرم می شود، طول زنجیره و انسجام ساختاری ماتریکس به دلیل پیوندهای دی سولفید کووالانسی تشکیل شده در بین زنجیره های پلی پپتیدی افزایش می یابد [Kester et al, 1986]. (نیکولای^۲ و همکاران، ۲۰۱۱، توتوساوس^۳ و همکاران، ۲۰۰۲). فیلم های منسجم تر معمولاً تخلخل کمتری دارند و در نتیجه نفوذپذیری بخار آب کمتر است [Nicolai et al, 2011, Totosaus] et al, 2002]. نمودار (۴-۴)، میزان نفوذپذیری فیلم های خوراکی بر پایه پکتین- پروتئین آب پنیر نسبت به بخار آب را نشان می دهد. همان گونه که در این نمودار دیده می شود، نمونه شاهد بیشترین نفوذپذیری

¹ Kester

² Nicolai

³ Totosaus

را نسبت به بخار آب در میان سایر فیلم‌های خوراکی تولید شده داشت. با اضافه نمودن امولسیون آویشن میزان این نفوذپذیری کاهش یافت. همچنین فیلم خوراکی حاوی امولسیون آویشن حاصله از تغلیظ کننده تحت خلأ اختلاف معنی‌داری در سطح ($p>0/05$)، نسبت به سایر نمونه‌ها داشت. میان فیلم‌های خوراکی حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از توئین ۸۰ و دستگاه خشک‌کن پاششی نانو هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید، اما نسبت به سایر نمونه‌ها دارای اختلاف معنی‌داری بودند. کمترین میزان نفوذپذیری در این پژوهش مربوط به نمونه فیلم خوراکی حاوی امولسیون حاصله از توئین ۸۰ می‌باشد. نتایج نشان داد با افزودن امولسیون آویشن به فیلم‌های خوراکی که بر پایه پکتین و پروتئین آب‌پنیر تولید شدند، میزان نفوذپذیری به‌طور چشمگیری کاهش یافت. بلقیسی و همکاران (۱۳۸۷)، خواص فیزیکی فیلم خوراکی پروتئین آب‌پنیر- منوگلیسرید و اثر پوشش دهی آن بر افت رطوبت و ویژگی‌های حسی گوشت تازه گوسفند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که افزودن منوگلیسرید به فیلم خوراکی بر پایه پروتئین آب‌پنیر سبب کاهش نفوذپذیری آن‌ها به بخار آب می‌شود [بلقیسی و همکاران، ۱۳۸۷]. تاویراس و همکاران (۲۰۲۱)، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ریزساختاری فیلم خوراکی کامپوزیتی به‌دست‌آمده از ترکیب کواسرواسیون بین کیتوزان و ایزوله پروتئین آب‌پنیر مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که میزان نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های تولید شده کیتوزان و ایزوله پروتئین آب‌پنیر نسب به فیلم‌های تولید شده با پروتئین آب‌پنیر کاهش یافت. آن‌ها علت این پدیده را ویژگی‌های آب‌گریزی فیلم‌های تولیدی به دلیل از بین رفتن بار فیلم‌ها ناشی از فعل‌وانفعالات الکترواستاتیکی بیان نمودند [Tavares et al, 2021]. سیلوا و همکاران (۲۰۱۸)، در طی پژوهش خود بیان نمودند افزودن مقدار کمی پکتین تا میزان ۰/۵ درصد به فیلم‌های خوراکی بر پایه پروتئین آب‌پنیر سبب افزایش نفوذپذیری فیلم‌ها گردید، که علت آن را کاهش انسجام ساختاری پروتئین ماتریکس بیان نمودند [selva et al, 2018]. ترکیب، ماهیت هر مؤلفه و اصولاً تعامل بین این مؤلفه‌ها، به‌طور قابل‌توجهی بر نفوذپذیری فیلم تأثیر می‌گذارد [Acosta et al, 2015]. در سال (۲۰۰۶)، براوین و همکاران بیان نمودند که ضخامت فیلم‌های خوراکی در میزان نفوذپذیری

تأثیرگذار است و با افزایش میزان ضخامت میزان نفوذپذیری نیز کاهش می‌یابد [Bravin et al, 2006]. اوسس و همکاران (۲۰۰۹)، مشاهده کرد که افزودن صمغ کهور (پلی‌ساکارید آب‌دوست) به‌طور قابل‌توجهی بر نفوذپذیری بخار آب فیلم‌های پروتئین آب پنیر تأثیر نمی‌گذارد [Osés et al, 2009]. در سال ۲۰۱۵ کابلو و همکاران در طی پژوهشی بیان نمودند که افزودن دو نوع نرم‌کننده گلیسرول و پلی اتیلن گلایکول به فیلم‌های خوراکی پکتینی سبب کاهش میزان نفوذپذیری به بخار آب این نوع فیلم‌ها گردید [Cabello et al, 2015].



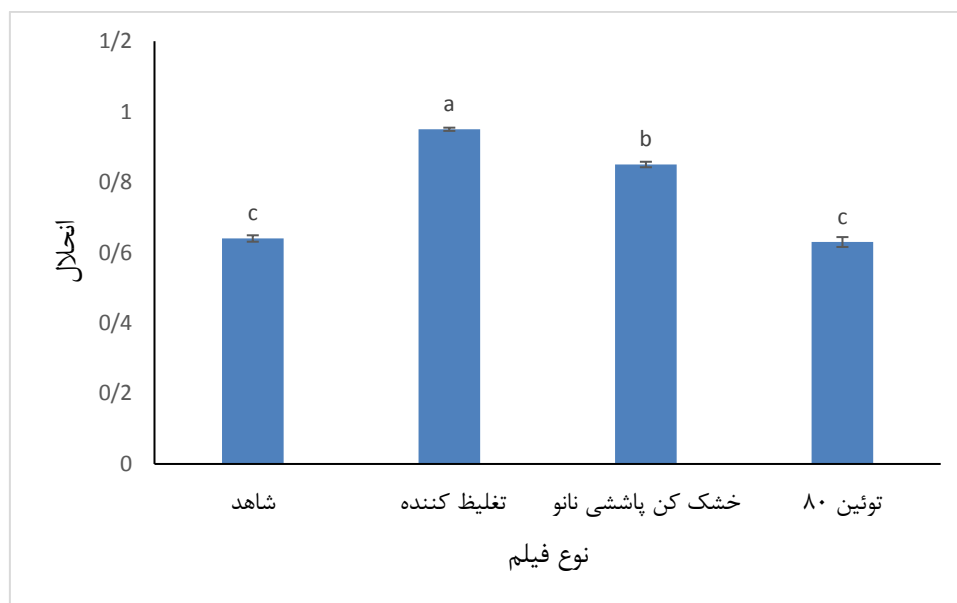
نمودار (۴-۴): میزان نفوذپذیری فیلم‌های خوراکی تولیدشده بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ، خشک‌کن پاششی نانو و توئین ۸۰.

۴-۷- نتایج اندازه‌گیری میزان انحلال‌پذیری فیلم‌های تولیدی

نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان انحلال‌پذیری فیلم‌های خوراکی بر پایه پکتین- پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از دستگاه خشک‌کن پاششی نانو، تغلیظ کننده تحت خلأ و توئین ۸۰ در نمودار (۴-۵)، آورده شده است. نتایج نشان داد که میان نمونه‌های حاوی امولسیون‌های مختلف آویشن اختلاف معنی‌داری در سطح ($p < 0.05$) وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد با اضافه نمودن امولسیون آویشن حاصله از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ و خشک‌کن پاششی نانو میزان انحلال‌پذیری

فیلم‌های خوراکی نیز افزایش یافت. با افزودن امولسیون آویشن حاصله از توئین ۸۰ میزان انحلال‌پذیری فیلم‌های خوراکی نیز کاهش یافت. سیلوا و همکاران (۲۰۱۸)، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ریزساختاری فیلم‌های ایزوله پروتئین آب پنیر با افزودن پکتین را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها بیان نمودند که فیلم‌های پروتئین آب پنیر پس از ۲۴ ساعت غوطه‌ور شدن در آب یکپارچگی خود را حفظ کردند. که علت این پدیده مربوط به پیوندهای دی سولفید بین مولکولی باشد که در طول عملیات حرارتی محلول پروتئین آب پنیر در بین زنجیره‌های پلی پپتیدی تشکیل شده است. همچنین آن‌ها بیان نمودند که افزودن پکتین به فیلم‌های پروتئین آب پنیر به‌طور قابل توجهی میزان رطوبت جذب‌شده در هر جرم جامدات خشک را تغییر نداد [silav et al, 2018]. این پیوندها طول زنجیره را افزایش می‌دهند و یک شبکه پایدار را تشکیل می‌دهند [Nicolai et al, 2011; Totosa et al, 2002]. همچنین نتایج حاصل از میزان آبدوستی این پژوهش نیز نشان داد که فیلم‌های ترکیبی پکتین و پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون آویشن دارای خواص نم‌پذیری است.

سیلوا و همکاران (۲۰۱۶) کاهش حلالیت فیلم‌های تولیدی بر پایه پروتئین آب پنیر را با افزودن صمغ دانه لوبیای لوکاست مشاهده کرد، با این وجود این که این صمغ بسیار آبدوست است [silav et al, 2016]. یی (۲۰۰۸)، بیان نمود که اگر یکی از اجزای (پروتئین یا پلی ساکارید) در مخلوط بیش از حد باشد، کمپلکس پروتئین-پلی ساکارید می‌تواند محلول‌تر باشد، زیرا به این ترتیب، برخی از بارها خنثی نمی‌شوند [Ye, 2008]. خانزادی (۱۳۹۱) در طی پژوهش خود بیان نمود که با افزایش درصد پولالان میزان حلالیت افزایش اما با افزایش درصد پروتئین آب پنیر میزان حلالیت کاهش یافت [خانزادی، ۱۳۹۱].

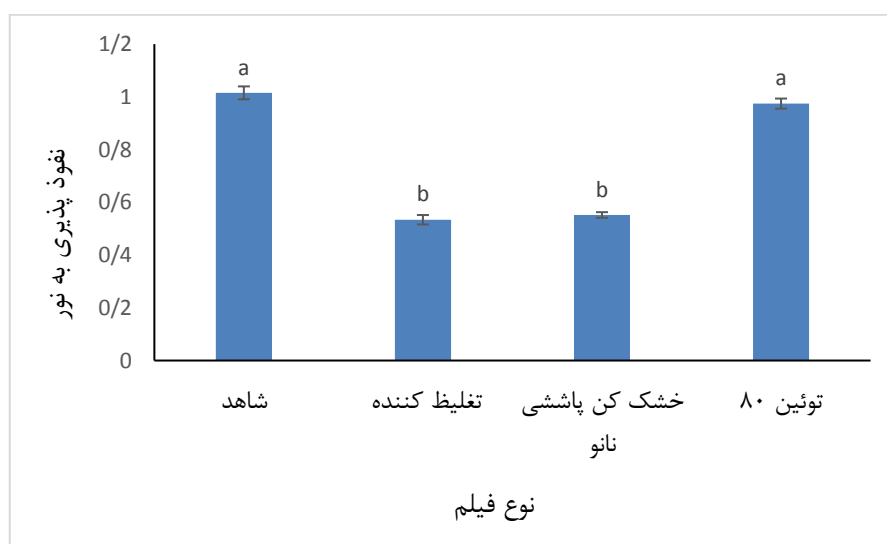


نمودار (۴-۵): میزان انحلال فیلم‌های خوراکی تولیدشده بر پایه پکتین - پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون آویشن به دست آمده از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ، خشک کن پاششی نانو و توئین ۸۰.

۴-۸- نتایج بررسی نفوذپذیری فیلم نسبت به نور

نتایج بررسی نفوذپذیری فیلم‌های خوراکی نسبت به نور در نمودار (۴-۶)، آورده شده است. همان گونه که در نمودار نشان داده شده است با اضافه نمودن امولسیون آویشن حاصله از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ و خشک کن پاششی نانو میزان نفوذپذیری فیلم‌های خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر به نور به شدت کاهش یافت اما با افزایش امولسیون آویشن حاصل از توئین ۸۰ میزان نفوذپذیری به نور به میزان جزئی کاهش یافت. میان نمونه‌ی شاهد و نمونه‌ی حاوی امولسیون توئین ۸۰ هیچ گونه اختلاف معنی داری در سطح ($p>0/05$)، مشاهده نگردید. همچنین میان فیلم‌های حاوی امولسیون به دست آمده با دستگاه خشک کن پاششی نانو و تغلیظ کننده تحت خلأ هیچ اختلاف معنی داری ($p>0/05$) مشاهده نگردید. سیلوا و همکاران (۲۰۱۸)، در طی پژوهشی بیان نمودند افزودن پکتین به طور قابل توجهی شفافیت فیلم‌های خوراکی بر پایه پروتئین آب پنیر را کاهش می دهد. همچنین آن‌ها بیان نمودند که افزایش غلظت پکتین از ۵/۰ به ۱ درصد به طور قابل توجهی شفافیت فیلم‌ها را پایین

آورد [Silva et al, 2018]. شفافیت فیلم‌ها به ریزساختار و آرایش ساختاری مولکول‌های پلیمری زیستی بستگی دارد [Acosta et al., 2015; Jiménez, et al, 2012]. ناسازگاری ترمودینامیکی بین پروتئین و پلی ساکارید می‌تواند منجر به جدایی فاز و ناپیوستگی در ضریب شکست شود که بر شفافیت فیلم تأثیر می‌گذارد [Jiménez et al., 2012]. فیلم‌های مبتنی بر پروتئین آب پنیر معمولاً شفاف و بی‌رنگ هستند. یو و کروچتا (۲۰۱۱) و سیلوا و همکاران. (۲۰۱۶) همچنین مشاهده کردند که افزودن پلی ساکاریدها شفافیت فیلم‌های خوراکی بر پایه پروتئین آب پنیر را کاهش می‌دهد و نتایج را به ناسازگاری ترمودینامیکی بین پلیمرهای زیستی مرتبط می‌کند [Yoo et al, 2011; Silva et al. 2016].



نمودار (۴-۶): میزان نفوذپذیری به نور فیلم‌های خوراکی تولیدشده بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون آویشن به‌دست آمده از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ، خشک‌کن پاششی نانو و توئین ۸۰.

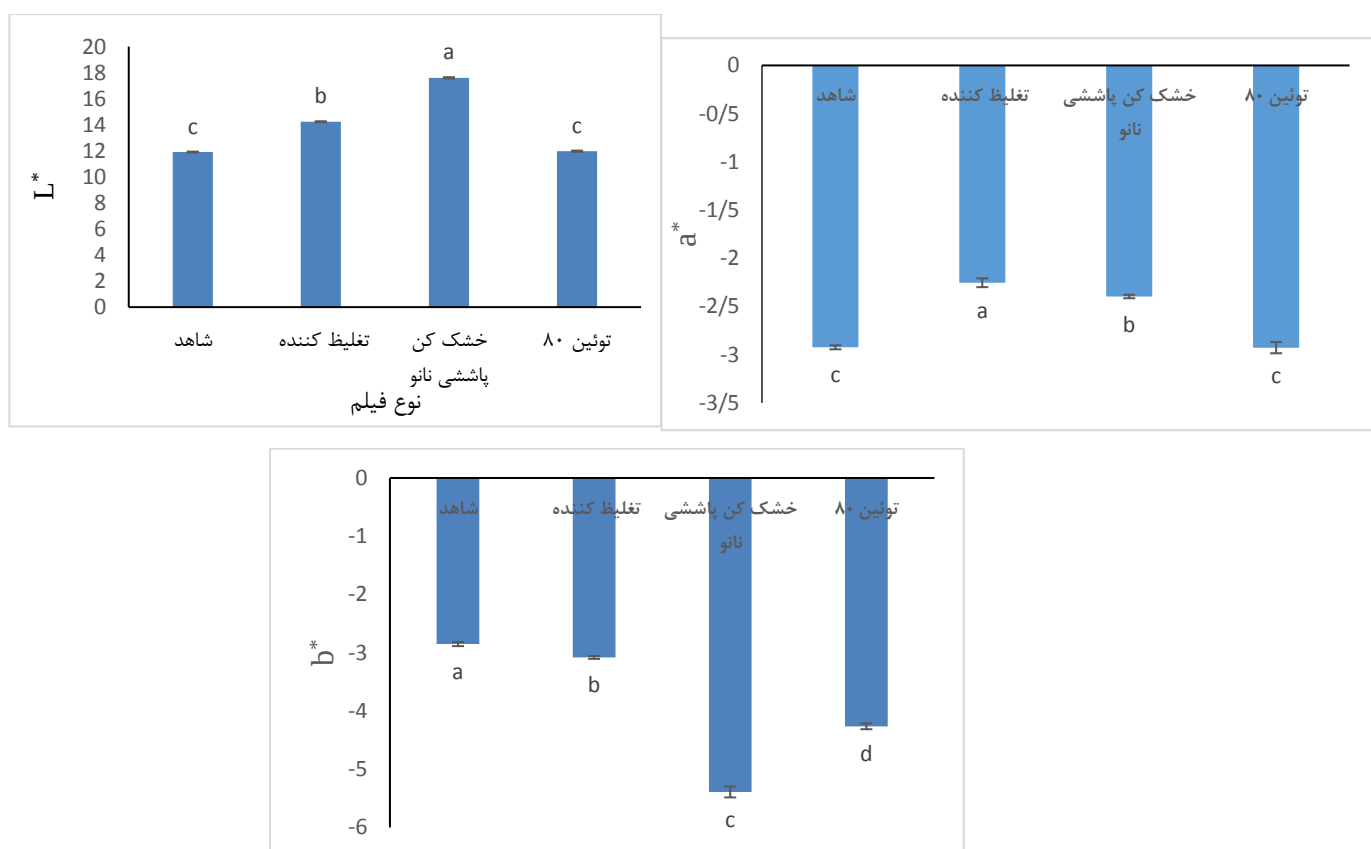
۴-۹- مطالعات رنگ‌سنجی فیلم‌های تولیدشده

ویژگی‌ها فیلم‌های خوراکی به‌کارگیری شده در بسته‌بندی مواد غذایی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است، به دلیل آن‌که رنگ مواد غذایی، اولین پارامتری است که مصرف‌کننده از محصول درک می‌نماید و از این‌رو تأثیر به‌سزایی در پذیرش محصول از طرف مصرف‌کننده دارد. بسیاری از مصرف‌کنندگان مواد

غذایی علاقه زیادی دارند که رنگ واقعی مواد غذایی بسته‌بندی‌شده را مشاهده نمایند و تازه بودن محصول اطمینان حاصل نمایند.

نتایج حاصل از فیلم‌های خوراکی تولیدشده در نمودار (۴-۷-الف)، نشان داده شده است. همان‌گونه که نشان داده شده است فاکتور L^* که بیانگر میزان روشنایی نمونه‌های خوراکی است با افزودن امولسیون آویشن تولیدشده از دستگاه تغلیظ‌کننده تحت خلأ و خشک‌کن پاششی نانو افزایش یافت، اما با افزودن امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از توئین ۸۰ میزان روشنایی کاهش پیدا نمود. همان‌گونه که در نمودار (۴-۷-الف)، نشان داده شده است میان نمونه‌های پودر خشک‌کن و تغلیظ‌کننده تحت خلأ با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌گردد اما میان نمونه توئین ۸۰ با نمونه شاهد هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. پارامتر a^* که میزان مثبت آن قرمزی نمونه‌ها و منفی آن میزان سبزی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در نمودار (۴-۷-ب)، نشان داده شده است میان نمونه‌های پودر خشک‌کن و تغلیظ‌کننده تحت خلأ با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌گردد اما میان نمونه توئین ۸۰ با نمونه شاهد هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری ($p>0/05$)، مشاهده نگردید. همچنین شاخص b^* که مقادیر مثبت آن میزان زردی نمونه‌ها و مقادیر منفی آن میزان آبی بودن نمونه‌ها را نشان می‌دهد در نمودار (۴-۷-پ)، آورده شده است. نتایج این شاخص نشان داد که تمامی نمونه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح ($p>0/05$)، داشتند. علیزاده و همکاران (۱۳۹۶)، خواص فیزیکی و ضد میکروبی فیلم خوراکی کیتوزان حاوی اسانس صمغ بنه را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در طی پژوهش خود گزارش دادند که با افزودن اسانس صمغ بنه میزان روشنایی نمونه‌ها افزایش یافت. همچنین آن‌ها بیان نمودند که میزان سبزی نمونه‌ها (a^*) کاهش و میزان و مقادیر زردی نمونه‌ی که نشان‌دهنده فاکتور (b^*) می‌باشد، افزایش یافت [علیزاده و همکاران، ۱۳۹۶]. زنگانه (۱۳۹۴)، ویژگی‌های فیلم‌های ترکیبی بر پایه موسیلاژ دانه به و ایزوله پروتئین آب پنیر را مورد بررسی قرار داد. ایشان گزارش کردند که با افزایش درصد ایزوله پروتئین آب پنیر فیلم‌های خوراکی میزان روشنایی و میزان سبزی نمونه‌ها افزایش یافت و میزان رنگ‌زردی نمونه‌ها کاهش یافت اما با افزایش درصد موسیلاژ دانه به میزان زردی نمونه‌ها

افزایش یافت [زنگانه، ۱۳۹۴]. جو^۱ و همکاران (۲۰۰۵)، گزارش دادند که با افزایش میزان دز تابش میزان پارامترهای L^* و a^* فیلم خوراکی تولیدشده از پکتین کاهش و میزان پارامتر b^* افزایش یافت et al., 2005]. [Jo al., 2005]. ولر و همکاران (۱۹۹۸)، تأثیر مومهای سورگوم و کارنوبا را روی فیلمهای خوراکی بر پایه زئین ذرت مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد که اضافه نمودن این ترکیبات مومی به فیلمهای خوراکی زئین ذرت سبب افزایش کدورت این فیلمها می گردد [Weller et al., 1998].



نمودار (۴-۷): رنگ سنجی فیلمهای خوراکی تولیدشده بر پایه پکتین - پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون آویشن به دست آمده از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ، خشک کن پاششی نانو و توئین

۸۰.

۴-۱۰- نتایج بررسی خواص مکانیکی

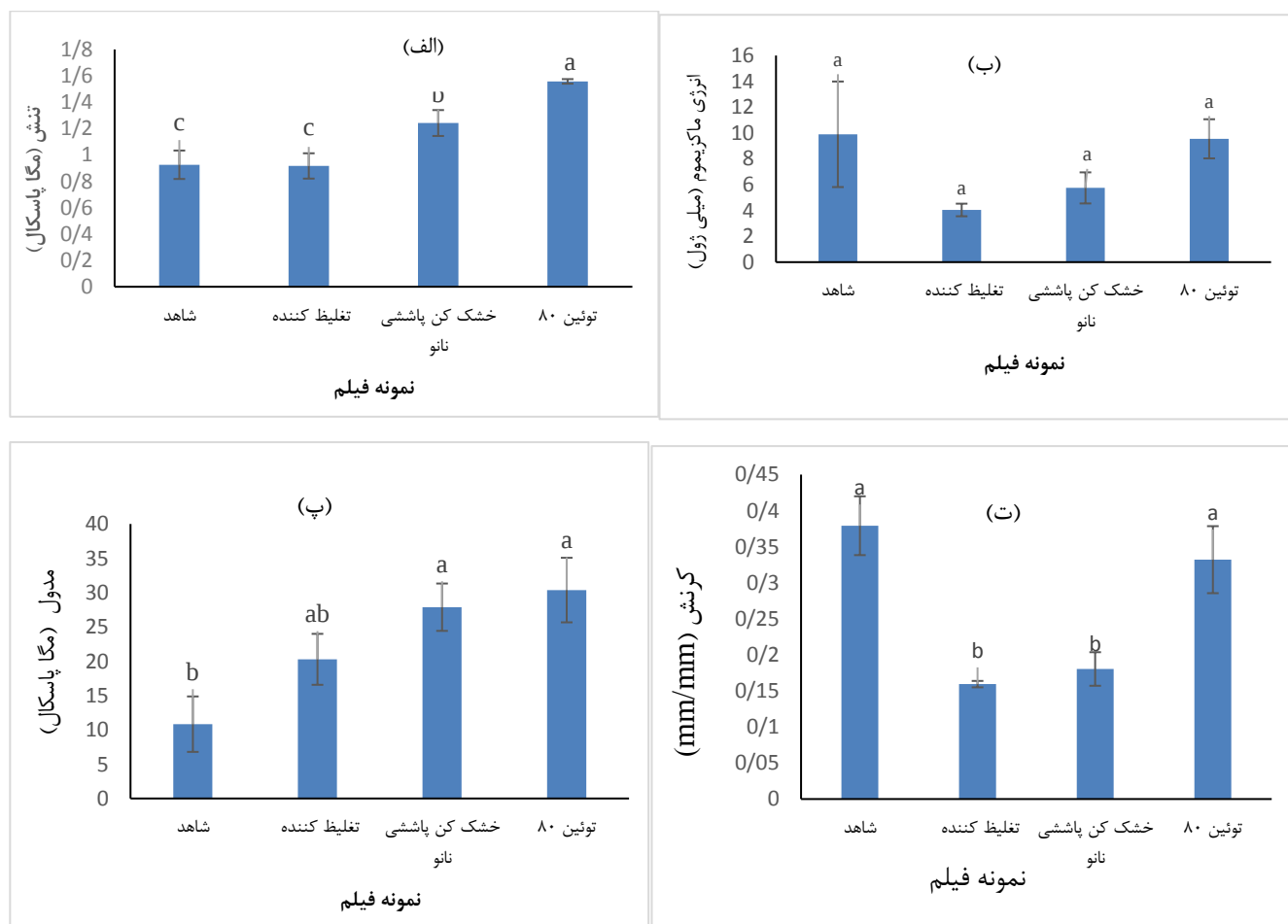
خواص مکانیکی لایه‌های خوراکی به نوع ماده پایه و انسجام ساختاری بستگی دارد (راموس^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج مربوط به تنش در نمودار (۴-۸-الف)، نشان داده شده است. همان‌گونه که در این نمودار مشاهده می‌گردد با افزودن امولسیون آویشن حاصله از توئین ۸۰ میزان تنش افزایش پیدا کرد و بیش از سایر نمونه‌ها بود. آنالیز واریانس نمونه‌ها نشان داد که میان نمونه شاهد و نمونه فیلم خوراکی حاوی آویشن به دست آمده از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ هیچ گونه اختلاف معنی‌داری در سطح ($p>0/05$)، وجود نداشت، اما میان سایر نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری ($p<0/05$)، مشاهده گردید. میزان انرژی ماکزیمم فیلم‌های خوراکی در نمودار (۴-۸-ب)، آورده شده است. همان‌گونه که در نمودار (۴-۸-ب)، نشان داده شده است با افزودن امولسیون آویشن به فیلم‌های خوراکی میزان انرژی ماکزیمم نمونه‌ها کاهش یافت. همچنین هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری ($p>0/05$)، میان نمونه‌ها مشاهده نگردید. نسبت تنش کششی به کرنش کششی در حالتی که رابطه بین این دو خطی باشد؛ مدول یانگ یا مدول الاستیسیته گفته می‌شود. همان‌طور که در نمودار (۴-۸-پ)، مشاهده می‌گردد با افزودن امولسیون به فیلم‌های خوراکی میزان مدول یانگ در تمامی نمونه‌ها افزایش یافت. همچنین میان نمونه شاهد با نمونه‌های حاوی امولسیون آویشن به دست آمده از توئین ۸۰ و دستگاه خشک‌کن پاششی نانو اختلاف معنی‌داری در سطح ($p<0/05$)، وجود داشت. نتایج مربوط به کرنش در نمودار (۴-۸-ت) آورده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد با افزودن امولسیون آویشن به فیلم‌های خوراکی میزان کرنش نمونه‌ها کاهش یافت. میان نمونه‌ی شاهد با نمونه توئین ۸۰ هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نگردید. اما میان نمونه شاهد با نمونه‌های حاوی امولسیون آویشن به دست آمده از خشک‌کن پاششی نانو و تغلیظ کننده تحت خلأ اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده گردید. سیلوا و همکاران (۲۰۱۸)، در طی مطالعه‌ای بیان نمودند که افزودن پکتین باعث کاهش خواص مکانیکی

¹ Ramos

فیلم‌های خوراکی گردید، که علت برهمکنش بین پروتئین آب پنیر و پکتین باعث اختلال در اتصال متقابل فیلم شده است که باعث کاهش انسجام بین زنجیره پلیمری و درنهایت منجر به استحکام کششی و ازدیاد طول لایه‌ها می‌شود [silva et al, 2018]. نتایج مربوط به انرژی ماکزیمم نشان داد که با افزودن امولسیون آویشن تولیدشده با توئین ۸۰ میزان انرژی ماکزیمم افزایش یافت اما با افزودن امولسیون آویشن به دست آمده از خشک‌کن پاششی نانو و تغلیظ کننده تحت خلأ میزان انرژی ماکزیمم کاهش یافت. وانگ و همکاران (2011) مشاهده کردند که افزودن آلژینات استحکام کششی لایه‌های پروتئین آب پنیر را کاهش می‌دهد و نتیجه را با دافعه الکترواستاتیک قوی بین آلژینات و پروتئین آب پنیر در pH برابر ۶ مرتبط می‌کند [Wang et al, 2011]. علیزاده و همکاران (۱۳۹۶)، در طی مطالعه‌ای بیان نمودند که افزودن اسانس به فیلم خوراکی کیتوزان سبب افزایش درصد کرنش می‌گردد [علیزاده و همکاران، ۱۳۹۶]. رودریگوئز و همکاران (۲۰۰۶)، در طی مطالعه‌ای تأثیر ترکیب نرم‌کننده گلیسرول و مواد فعال سطحی، توئین ۲۰، اسپن ۸۰ و لستین سوپا را بر خصوصیات فیزیکی فیلم‌های خوراکی بر پایه نشاسته سیب‌زمینی را مورد پژوهش قرار دادند. اضافه نمودن نرم‌کننده به این فیلم‌ها سبب افزایش انعطاف‌پذیری بیشتر آن‌ها گردید. همچنین آن‌ها بیان نمودند که توئین ۲۰ در غلظت پایین سبب کاهش کشش سطحی فیلم‌های خوراکی گردید، اما لستین در غلظت زیاد منجر به این اتفاق شد. عدم حضور گلیسرول سبب گردید که مواد فعال سطحی تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات مکانیکی فیلم‌ها داشته باشد [Rodríguez et al, 2006].

حسینی و همکاران (۱۳۸۷)، ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی و ضد میکروبی فیلم‌های خوراکی تولیدشده بر پایه کیتوزان حاوی اسانس‌های خوراکی آویشن، میخک و دارچین را بررسی کردند. آن‌ها گزارش دادند اضافه نمودن اسانس‌های میخک و آویشن در فیلم‌های خوراکی بر پایه کیتوزان میزان رطوبت، حلالیت در آب، نفوذپذیری به بخار آب و درصد ازدیاد طول را افزایش می‌دهد [حسینی و همکاران،

۱۳۸۷]. مارینیلو^۱ و همکاران (۲۰۰۹)، در طی پژوهشی اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز را بر فیلم خوراکی تولیدشده بر پایه آرد سویا و پکتین را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان نمودند که در حضور آنزیم فیلم‌های تولیدی دارای سطحی صاف و همگن بود. همچنین آن‌ها گزارش دادند که آنزیم ترانس گلوتامیناز استحکام فیلم‌های را افزایش و انعطاف‌پذیری آن‌ها را کاهش داد [Mariniello et al, 2003].



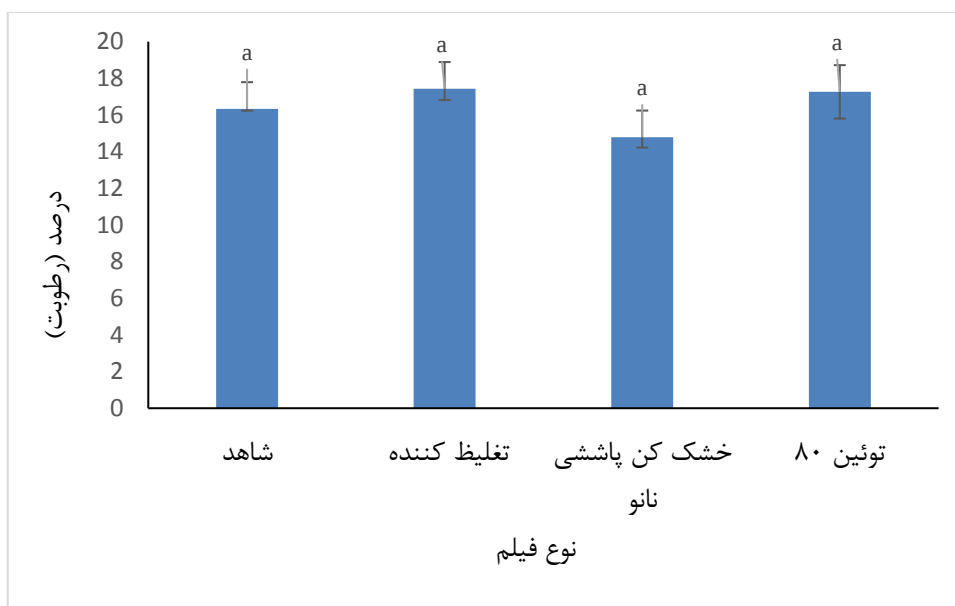
نمودار (۴-۸): خواص مکانیکی فیلم‌های خوراکی تولیدشده بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون آویشن به دست آمده از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ همراه با آون، خشک‌کن پاششی نانو و توئین ۸۰ (تنش (الف)، انرژی ماکزیمم (ب)، مدول (پ)).

¹ Mariniello

۴-۱۱- نتایج رطوبت فیلم‌های خوراکی

نتایج مربوط به فیلم‌های خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون آویشن به دست آمده از سه روش (خشک‌کن پاششی نانو، تغلیظ کننده تحت خلأ و توئین ۸۰)، در نمودار (۴-۹)، آورده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین میزان رطوبت مربوط به فیلم خوراکی حاوی امولسیون آویشن به دست آمده از تغلیظ کننده تحت خلأ و کمترین میزان رطوبت فیلم‌های خوراکی مربوط به نمونه حاوی امولسیون آویشن به دست آمده از خشک‌کن پاششی نانو بود. بازاریا و همکاران در سال (۲۰۱۶) بیان نمودند که هوای داغ سبب کاهش میزان رطوبت می‌گردد [Bazaria et al, 2016]. نتایج حاصل از آنالیز واریانس فیلم‌های خوراکی نشان داد که میزان رطوبت در تمامی نمونه فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح ($p > 0/05$) بود. زنگانه (۱۳۹۴)، در طی پژوهش خود بیان نمود که با افزایش میزان درصد پروتئین آب پنیر میزان جذب رطوبت فیلم‌های خوراکی کاهش یافت. علت این تفاوت می‌توان به دلیل نوع پلی‌ساکارید و درصد پروتئین ایزوله استفاده شده در فیلم‌های خوراکی باشد، چون با افزایش میزان درصد پروتئین ایزوله شبکه پروتئینی نیز زیادتر می‌شود در نهایت سبب افزایش اتصال به مولکول‌های آب می‌گردد در نتیجه محتوی رطوبتی فیلم‌ها افزایش می‌یابد [زنگانه، ۱۳۹۴]. نور - فاتین^۱ و همکاران (۲۰۱۷)، گزارش دادند که اضافه نمودن روغن‌های گیاهی به فیلم‌های خوراکی بر پایه کاپا-کاراگینان، سبب کاهش محتوای رطوبتی می‌گردد. خانزادی (۱۳۹۱)، بررسی امکان تهیه فیلم خوراکی از کنسانتره پروتئین آب پنیر و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مکانیکی آن را مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل از پژوهش آن نشان داد که با افزایش درصد پروتئین آب پنیر و کاهش درصد میزان پولالان درصد رطوبت افزایش پیدا نمود [خانزادی، ۱۳۹۱]. فیلم‌های خوراکی بر پایه پکتین مقاومت بسیار خوبی در برابر گازها دارد اما به دلیل داشتن ماهیت آب‌دوستی حساسیت بالایی در برابر رطوبت دارد. به‌طور کلی فیلم‌های خوراکی بر پایه پکتین به علت داشتن قطبیت بالا حساسیت زیادی در برابر رطوبت دارد [Espitia et al, 2014].

¹ Nur – Fatin



نمودار (۴-۹): درصد رطوبت نمونه‌های فیلم‌های خوراکی پکتین و پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون

آویشن به دست آمده از ذرات زئین - کیتوزان و توئین ۸۰.

۴-۱۲- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش تولید نوعی فیلم خوراکی بر پایه پکتین و پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون‌های پایدار شده زئین ذرت، کیتوزان و توئین ۸۰ بود. همان گونه که نتایج نشان داد مورفولوژی ذرات کیتوزان- زئین ذرت با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، بیانگر این بود که ذرات حاصله از خشک کن پاششی نانو به صورت تفکیک شده بودند. همچنین نتایج اندازه‌گیری ذرات نشان داد که بیشترین اندازه ذرات در این پژوهش مربوط به امولسیون تولید شده با استفاده از دستگاه خشک کن پاششی نانو بود. رفتار رئولوژیکی امولسیون‌های تهیه شده نشان داد که با افزایش میزان سرعت برشی در تمامی نمونه‌های امولسیونی تنش برشی نیز افزایش یافت که علت آن را می‌توان به کیتوزان موجود در فرمولاسیون ربط داد. همچنین نتایج نشان داد که فیلم ترکیبی پکتین و پروتئین آب پنیر حاوی امولسیون آویشن دارای زاویه تماس بیشتری و از نوع نم‌پذیر می‌باشد. ساختار فیلم تهیه شده و چگونگی

پراکندگی ذرات نشان داد که در نمونه شاهد (کنترل)، ساختار یکنواخت و همگن در سطح فیلم مشاهده نمی‌گردد. با افزودن امولسیون آویشن به فیلم‌های خوراکی تولیدشده، میزان نفوذپذیری به بخار آب به‌طور چشمگیری کاهش یافت. همچنین با اضافه نمودن امولسیون آویشن حاصله از تغلیظ کننده تحت خلأ و خشک‌کن میزان انحلال‌پذیری افزایش و با افزودن امولسیون آویشن حاصله از توئین ۸۰ میزان انحلال‌پذیری کاهش یافت. با اضافه نمودن امولسیون آویشن حاصله از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ و خشک‌کن پاششی نانو میزان نفوذپذیری فیلم‌های خوراکی را به نور به‌شدت کاهش یافت. نتایج مربوط به رنگ‌سنجی نمونه‌ها نشان داد که میزان روشنایی نمونه‌ها با افزودن امولسیون آویشن تولیدشده از دستگاه تغلیظ کننده تحت خلأ و خشک‌کن پاششی نانو افزایش اما با افزودن امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از توئین ۸۰ میزان روشنایی کاهش پیدا نمود. نتایج مربوط به پارامتر a^* نشان داد که میان نمونه‌های پودر خشک‌کن و تغلیظ کننده تحت خلأ با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. نتایج شاخص b^* نشان داد که تمامی نمونه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح ($p < 0/05$)، داشتند. نتایج مربوط به تنش نشان داد که با افزودن امولسیون آویشن حاصله از توئین ۸۰ میزان تنش افزایش پیدا کرد و بیش از سایر نمونه‌ها بود. با افزودن امولسیون به فیلم‌های خوراکی میزان مدول ینگ در تمامی نمونه‌ها افزایش یافت. نتایج مربوط به انرژی ماکزیمم نشان داد که با افزودن امولسیون آویشن تولیدشده با توئین ۸۰ میزان انرژی ماکزیمم افزایش اما با افزودن امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از خشک‌کن پاششی نانو و تغلیظ کننده تحت خلأ میزان انرژی ماکزیمم کاهش یافت. نتایج نشان داد که با افزودن امولسیون میزان کرنش در تمامی نمونه‌ها کاهش یافت. یافته‌ها نشان داد که بیشترین میزان رطوبت مربوط به فیلم خوراکی حاوی امولسیون آویشن به‌دست‌آمده از تغلیظ کننده تحت خلأ بود. به دلیل اینکه در روش نانو خشک‌کن پاششی نانو به دلیل کوچک شدن ذرات تمام خلل و فرج‌ها گرفته شد، بنابراین نفوذ پذیری فیلم‌های تولیدی به بخار آب کاهش پیدا نمود که همین علت می‌تواند سبب افزایش ماندگاری مواد غذایی گردد. همچنین به دلیل کاهش اندازه ذرات فیلم‌های تولیدی دارای شفافیت بالایی بود. در نهایت نتایج نشان داد که اثرات پیکرینگ سبب بهبود عملکرد فیلم‌ها گردید.

۴-۱۳- پیشنهادات

۱- بررسی استفاده از فیلم‌های خوراکی پکتین - پروتئین آب پنیر حاوی اسانس‌های مختلف در

افزایش عمر نگهداری مواد غذایی

۲- استفاده از سایر هیدروکلوئیدها در ترکیب با پکتین یا پروتئین آب پنیر برای تولید فیلم‌های

خوراکی دیگر

۳- بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های خوراکی پکتین - پروتئین آب پنیر حاوی

امولسیون‌های دیگر

منابع

- بلقیسی س.، عزیزی م ح.، ظهوریان، گ. و هادیان ز.، (۱۳۸۷). ارزیابی خواص فیزیکی فیلم خوراکی پروتئین آب پنیر- منوگلیسرید و اثر پوشش دهی آن بر افت رطوبت و ویژگی های حسی گوشت تازه گوسفند. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. ۳(۳): ۸۳-۹۳.
- پایان م. و حامدی م.، (۱۳۹۲). مروری بر کاربرد بسته بندی فعال در صنایع غذایی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی. ۳۸(۱۰): ۴۹-۶۸.
- جباری ف.، (۱۳۸۶). تهیه و بررسی خواص فیلم های بسته بندی خوراکی زیست تخریب پذیر از پروتئین آب پنیر و زئین ذرت. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- حسینی سم ه.، رضوی سم. ه.، ابراهیم زاده موسوی سم ع.، (۱۳۸۷). بررسی خواص ضد میکروبی، فیزیکی و مکانیکی فیلم های خوراکی تولید شده از کیتوزان محتوی اسانس های آویشن و میخک. نشریه علوم و صنایع غذایی ایران. ۵(۲): ۴۱-۵۰.
- خانزادی م.، (۱۳۹۱). بررسی امکان تهیه فیلم خوراکی از کنسانتره پروتئین آب پنیر و ارزیابی ویژگی های فیزیکو شیمیایی و مکانیکی آن. پایان نامه علوم و صنایع غذایی- تکنولوژی مواد غذایی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- درویش، ط.، کوچک، م.، فرهی، ف. (۱۳۹۵). تهیه و ارزیابی نانوذرات کیتوزانی حاوی تیمولول مالئات به منظور افزایش زمان تماس دارو با چشم در خرگوش (به عنوان مدل حیوانی). پایان نامه دکتری عمومی در رشت داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور: اهواز.
- رضوی زاده، ب بم، خان محمدی ف.، عزیزی س ن.، (۱۳۹۴). بررسی خصوصیات فیزیکو شیمیایی میکرومولسیون روغن سبوس برنج در آب: اثر اعمال فراصوت و غلظت توپین ۸۰. ویژه نامه علوم و صنایع غذایی. ۱۳(۱): ۲۱-۳۰.
- زنگانه ز.، (۱۳۹۴). تولید و بررسی ویژگی های فیلم های ترکیبی بر پایه موسیلاژ دانه به و ایزوله پروتئین آب پنیر. پایان نامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی- شیمی مواد غذایی. دانشگاه علوم و کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- سادات پیام ن.، (۱۳۹۷). سنتز و مشخصه نانوذرات کیتوزان. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش حالت جامد. دانشگاه پیام نور مرکز اهواز.
- سادات حسینی و، نجفیم ن.، محمدی ثانی ع.، کوچکی آ.، (۱۳۹۲). بررسی اثر صمغ دانه بالنگو شیرازی و پروتئین آب پنیر بر پایداری امولسیون روغن در آب. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی. ۲(۲): ۱۰۹-۱۲۰.
- ضیابری، س. ح. م.، (۱۳۷۴). اصول بسته بندی مواد غذایی. انتشارات نشر مشهد.

علیزاده بهبهانی ب، (۱۳۹۵). تولید پوشش خوراکی ضد میکروبی بر پایه موسیلاژ دانه "بارهنگ کبیر" در ترکیب با اسانس‌های شوید و ترخون: بررسی ویژگی‌ها و کاربرد آن در گوشت گاو. رساله دکتری. دانشگاه فردوسی مشهد.

علیزاده و، برزگر ح، ناصحی ب، سماواتی و، (۱۳۹۶). ارزیابی خواص فیزیکی و ضد میکروبی فیلم خوراکی کیتوزان حاوی اسانس صمغ بنه. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران ۱۳(۴): ۵۸۴-۵۹۳.

قدسی م، (۱۳۹۲). تولید و ارزیابی ویژگی‌های عملکردی و مؤثر بر نگهداری مواد غذایی فیلم تهیه‌شده از پروتئین گاو دانه حاوی نانو ذرات نقره و اکسید روی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی. دانشگاه صنعتی اصفهان.

قنبرزاده ب، الماسی ه، (۱۳۸۸). تأثیر اسید اولئیک و گلیسرول بر ویژگی‌های نفوذپذیری زاویه تماس و ظاهری فیلم‌های خوراکی حاصل از کربوکسی متیل سلولز. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی. ۱۹(۱): ۳۳-۲۶.

مهدی‌زاده ع، شهیدی س آ، شریعتی‌فر ن، شیران م ر، قربانی آ، سرایی ح، (۱۳۹۹). تهیه و ارزیابی ویژگی‌های فیلم آنتی‌اکسیدانی کیتوزان- زئین حاوی عصاره‌ی هیدروالکلی آزاد و درون‌پوشانی شده گیاه کک کش بیابانی *Pulicaria gnaphalodes* (Vent.) Boiss. فصلنامه گیاهان دارویی. ۱۹(۷۵): ۲۳۸-۲۲۳.

نظری ح، مرادی، پ، محبی م، (۱۳۹۶). کتاب آویشن. مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی. سازمان جهاد کشاورزی استان زنجان.

Acosta, S., Jiménez, A., Cháfer, M., González-Martínez, C., & Chiralt, A. (2015). Physical properties and stability of starch-gelatin based films as affected by the addition of esters of fatty acids. *Food Hydrocolloids*, 49, 135-143.

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: 745-751.

Albadarin, A.B., Collins, M. N., Naushad, M., Shirazian, S., Walker, G., & Mangwandi, C. (2017). "Activated lignin-chitosan extruded blends for efficient adsorption of methylene blue," *Chemical Engineering Journal*. 307, 264-272.

Almasi, H., Azizi, S., & Amjadi, S. (2020). Development and characterization of pectin films activated by nanoemulsion and Pickering emulsion stabilized marjoram (*Origanum majorana* L.) essential oil. *Food Hydrocolloids* 99: 105338.

ASTM, (1995). "Standard test methods for water vapor transmission of material, E96-95". Annual book of ASTM, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.

Astm, E. Standard test methods for water vapor transmission of materials. ASTM International: West, Conshohocken, PA (96).

Bai J., Alleyne V., Hagenmaier R.D., Mattheis J.P., Baldwin E.A., "Formulation of zein coatings for apples (< i> Malus domestica</i> Borkh)", Postharvest biology and technology, 28, 259-268, 2003.

Baldrick, P. (2010). "The safety of chitosan as a pharmaceutical excipient," *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 56: 290-299.

Bazaria B., Kumar P. (2016). Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. *Food Bio*. 14: 21-7.

Bhati, J., Singh, A., & T. Kulkarni, G. (2021). Research Article on Anti-Bactrial Efficacy of Ethanolic Extract of Thyme and Cinnamon in TREAtment of Acen Vulgaris. *International Journal of Modern Pharmaceutical Research*. 5(4), 222-232.

Bravin, B., Peressini, D., & Sensidoni., A. (2006). Development and aVol (No) lication of polysaccharide–lipid edible coating to extend shelf-life of dry bakery products. *Journal of Food Engineering* 76: 280-290.

Cabello, S. P., Takara, E. A., Marchese, J., & Ochoa, N. A. (2015). "Influence of plasticizers in pectin films: Microstructural changes". *Materials Chemistry & Physics*, 162, 491-497.

Campos, C. A., Gerschenson, L. N., & Flores, S. K. (2011). "Development of edible films and coatings with antimicrobial activity". *Food & Bioprocess Technology*, 4(6), 849-875.

Cooksey, D. K., Gremmer, A. & Grower, J. (2000). Characteristics of Nisin-Containing Corn Zein Pouches for Reduction of Microbial Growth in Refrigerated Shredded Cheddar Cheese. in 2000 IFT Annual Meeting Book of Abstracts, Chicago, IL: Institute of Food Technologists, p. 188.

Cuq, B., Gontard, N., Cuq, J.-L., & Guilbert, S. (1996). Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging as affected by film thickness. *Journal of Food Science*, 61(3), 580–584.

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.

Ghanbarzadeh, B., and A. R. Oromiehi, (2008). Biodegradable biocomposite films based on whey protein and zein: Barrier, mechanical properties and AFM analysis. *Int. J. Biol. Macromol.* 43: 209-215.

Ghasemlou M, Khodaiyan F, Oromiehie A & Saeid-Yarmand M. (2011). Characterization of edible emulsified films with low affinity to water based on kefirin and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 49(3): 378–384.

Guilbert, S. (1988). Use of Superficial Edible Layer to Protect Intermediate Moisture Foods: Application to the Protection of Tropical Fruit Dehydrated by Osmosis. in *Food Preservation by Moisture Control*, ed., C.C. Seow, London, UK: Elsevier Applied Science Publishers, 119–219.

Guilbert, S., (1986). "Technology and application of edible protective films. In *Food Packaging and Preservation*", Mathlouthi, M., Ed., Elsevier Applied Science: London, UK, pp. 371-394.

Gutiérrez, J. M., González, C., Maestro, A., Sole, I., Pey, C. M., and Nolla, J. (2008). Nano-emulsions: New applications and optimization of their preparation. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 13(4), 245-251.

Huang, X. (2001). Hydrocolloids in emulsions: particle size distribution and interfacial activity. *Food Hydrocolloids*, 15 (4–6): 533-542.

Huffman, L.M., & Harper, W.J. (1999). "Maximizing the Value of Milk through Separation Technologies", Symposium: Marketing Dairy Value through Technology, *Journal of dairy Science* 82: 2238-2244.

Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2012). Influence of hydroxypropylmethylcellulose addition and homogenization conditions on properties and ageing of corn starch based films. *Carbohydrate Polymers*, 89(2), 676–686.

Pérez-Gago, M., & Krochta, J. (2001). Lipid particle size effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein/beeswax emulsion films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2): 996-1002.

Jo, C., Kang, H., Lee, N. Y., Kwon, J. H., & Byun, M. W. (2005). "Pectin-and gelatin-based film: effect of gamma irradiation on the mechanical properties and biodegradation". *Radiation Physics & Chemistry*, 72(6), 745-750.

Jouki, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A. & Koocheki, A. (2014), Quince seed mucilage films incorporated with oregano essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties, *Food Hydrocolloids*, 36, 9-19.

Kester, J. J. & Fennema, O. (1986). "Edible Films and Coatings: A review", *Food Technology*, 40: 47-59.

Lai, H, M. & Padua, G. W. (1997). Properties and microstructure of plasticized zein films. *Cereal Chemistry*, 74(6): 771- 775.

Lawton J., (2004) "Plasticizers for zein: their effect on tensile properties and water absorption of zein films".

Mariniello, L., Di Pierro, P., Esposito, C., Sorrentino, A., Masi, P., & Porta, R. (2003). "Preparation and mechanical properties of edible pectin–soy flour films obtained in the absence or presence of transglutaminase". *Journal of Biotechnology*, 102(2), 191-198.

Mariniello, L., Di Pierro, P., Esposito, C., Sorrentino, A., Masi, P., & Porta, R. (2003). "Preparation and mechanical properties of edible pectin–soy flour films obtained in the absence or presence of transglutaminase". *Journal of Biotechnology*, 102(2), 191-198.

McClements, D. J. (1999). Emulsion stability. *Food emulsions: practice and techniques*, 185-220.

Mchugh, T. H., Aujard, J. F., & Krochta, J. M. (1994). "Plasticized whey protein edible films: water vapor permeability properties". *Journal of Food Science*, 59(2), 416-419.

Nicolai, T., Britten, M., & Schmitt, C. (2011). β -lactoglobulin and WPI aggregates: Formation, structure and applications. *Food Hydrocolloids*, 25, 1945–1962.

Nielsen L.E., Landel R.F. (1994). *Mechanical properties of polymers and composites*, CRC Press.

Noori, S., Zeynali, F., & Almasi, H. (2018). Antimicrobial and antioxidant efficiency of nanoemulsion-based edible coating containing ginger (*Zingiber officinale*) essential oil and its effect on safety and quality attributes of chicken breast fillets. *Food Control*, 84, 312–320.

Nur Fatin Nazurah, R., & Nur Hanani, Z.A. (2017). Physicochemical characterization of kappa-carrageenan (*Eucheima cottoni*) based films incorporated with various plant oils. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1479 – 1487.

Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, S.H., & Hosseini, S.M.H. (2010). Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chemistry*, 120: 193–198.

Osés, J., Fabregat-Vázquez, M., Pedroza-Islas, R., Tomás, S. A., Cruz-Orea, A., & Maté, J. I. (2009). Development and characterization of composite edible film based on whey protein isolate and mesquite gum. *Journal of Food Engineering*, 92, 56–62.

Park, S.J., Jin J.S., (2001). "Effect of corona discharge treatment on the dyeability of lowdensity polyethylene film", *Journal of colloid and interface science*, 236, 155 160.

Pavlat, A. E., Voisin, A., & Robertson, G. H. (1999). "Pectin-based biodegradable water insoluble films". In *Macromolecular Symposia*, 140(1), 107-113.

Perez-Gago, M.B., Serra, M and. del Río., M.A (2006). Color change of fresh-cut aVol (No)les coated with whey protein concentrate-based edible coatings. *Postharvest Biology and Technology* 39, Vol (No). 84-92.

Rodrigues, D. C., Cunha, A. P., Brito, E. S., Azeredo, H. M. C. & Gallao. M. I. (2016). Mesquite seed gum and palm fruit oil emulsion edible films: Influence of oil content and sonication. *Food Hydrocoll.* 56: 227-235.

Rodríguez, M., Osés, J., Zianiand, K., & Maté, J. I. (2006). Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible film. *Food Research International*, 39: 840-846.

Salehi, F., & Kashaninejad, M. (2015). Static rheological study of Ocimum basilicum seed gum, *International Journal of Food Engineering*, 11(1): 97-103.

Shukla R., & Cheryan M. (2001). "Zein: the industrial protein from corn", *Industrial Crops and Products*, 13, 171-192.

Shomali, T. (2019). Zataria multiflora and Gastrointestinal Tract Disorders. *Dietary Interventions in Gastrointestinal Diseases*. 209-212.

Silva, K. S., Mauro, M. A., Gonçalves, M. P., & Rocha, C. M. R. (2016). Synergistic interactions of locust bean gum with whey proteins: Effect on physicochemical and microstructural properties of whey protein-based films. *Food Hydrocolloids*, 54, 179–188.

Silvaa, b, K.S., Fonsecab, T.M.R., Amadob, L.R., Maurob, M.A. (2018). Physicochemical and microstructural properties of whey protein isolatebased films with addition of pectin. *Food Packaging and Shelf Life* 16: 122–128.

Sothornvit, R. & Krochta, J.M. (2001). Plasticizer effect on mechanical properties of blactoblobulin films. *J. Food Eng.* 50(3): 149-155.

Tavares, L., Souza, H.K.S., Gonçalves, M.P., Rocha, C M.R. (2021). Physicochemical and microstructural properties of composite edible film obtained by complex coacervation between chitosan and whey protein isolate. *Food Hydrocolloids* 113: 106471.

Tharanathan, R.N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology* 14, 71-78.

Timothy J. Anderson¹ & Buddhi P. Lamsal, (2011). Development of New Method for Extraction of α -Zein from Corn Gluten Meal Using Different Solvents. *Cereal Chem.* 88(4):356-362.

- Tomazelli Júnior, O., Kuhn, F., Padilha, P. J. M., Vicente, L. R. M., Costa, S. W., Boligon, A. A., Scapinello, J., Nesi, C. N., Dal Magro, J. & Lamo Castellví, S. (2018). Microencapsulation of essential thyme oil by spray drying and its antimicrobial evaluation against *Vibrio*. *Brazilian Journal of Biology*. 8 (2). 311– 317.
- Totosaus, A., Montejano, J. G., Salazar, J. A., & Guerrero, I. (2002). A review of physical and chemical protein-gel induction. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(6), 589–601.
- Turhan, K. N., & Şahbaz, F. (2004). Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methylcellulose-based edible films. *Journal of Food Engineering*. 61: 459-466.
- Vartiainen, J., Tammelin, T., Pere, J., Tapper, U., & Harlin, A. (2010). “Biohybrid barrier films from fluidized pectin and nanoclay”. *Carbohydrate Polymers*, 82(3), 989-996.
- Vásconez, M. B., Flores, S. K., Campos, C. A., Alvarado, J., & Gerschenson, L. N. (2009). Antimicrobial activity and physical properties of chitosan–tapioca starch based edible films and coatings. *Food Research International*, 42(7): 762–769.
- Wang, Y., Dong, L., Wang, L. J. & Adhikari, B. (2011). The effect of addition of flaxseed gum on the emulsion properties of soybean protein isolate (SPI). *Journal of Food Engineering*, 104(1): 56-62.
- Weller, C. L., Gennadios, A., & Saraiva, R. A. (1998). “Edible bilayer films from zein and grain sorghum wax or carnauba wax”. *LWT-Food Science & Technology*, 31(3), 279-285.
- Ye, A. (2008). Complexation between milk proteins and polysaccharides via electrostatic interaction: Principles and applications — A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(3), 406–415.
- Yoo, S. R., & Krochta, J. M. (2011). Whey protein–polysaccharide blended edible film formation and barrier, tensile, thermal and transparency properties. *Journal Science Food Agriculture*, 91, 2628–2636.
- Zhou, J., Wang, S., & Gunasekaran, S. (2009). Preparation and characterization of whey protein film incorporated with TiO₂ nanoparticles. *Journal of food science*. 74(7). N50-N56.

Abstract

In recent years, the use of food films instead of plastics has attracted the attention of many researchers. These films have contributed a lot to the environment due to their biodegradability. In this study, an oral film based on pectin and whey protein containing thyme emulsion, which was produced by three production methods (rotary evaporator, spray dryer and Tween 80), was investigated. The results of morphological examination of corn chitosan-zein particles (produced by rotary and spray dryer) using scanning electron microscopy (SEM) showed that the powder obtained from spray dryer in some places has a clumping and particle accumulation, but in the image of the rotary powder had a more homogeneous and uniform structure. The results of particle measurement showed that the largest particle size was related to the emulsion produced using the spray dryer. In this study, the rheological behavior of emulsions showed that with increasing the shear rate in all samples, the shear stress also increased. The results of hydrophilicity of the samples (by water contact angle method) showed that the combined film of pectin and whey protein contains more hydrophilic thyme emulsion. Findings obtained from the study of film structure and particle dispersion in the film surface showed that by adding thyme emulsion obtained from Tween 80, the roughness and roughness of the film sample was reduced. The results show that by adding thyme emulsion to edible films based on pectin and whey protein, water vapor permeability was significantly reduced. The results also showed that with the addition of thyme emulsion from rotary and dryer, the amount of solubility increased, but with the addition of thyme emulsion from Tween 80, the amount of solubility decreased. The addition of thyme emulsion from the rotary and spray dryer greatly reduced the light permeability of the films. The colorimetric results of the samples showed that the brightness increased with the addition of thyme emulsion produced by the rotary and spray dryer, but with the addition of thyme emulsion obtained from Tween 80, the brightness decreased. The results related to parameter a^* showed a significant difference between the samples of drying powder and rotary with the control sample, but no significant difference was observed between the Tween 80 sample and the control sample. The results of b^* index showed that all samples had a significant difference with each other at the level of 5%. Stress results showed that by adding thyme emulsion obtained from Tween 80, the amount of stress increased. Yang modulus increased in all samples by adding emulsion to edible films. Also, the results related to maximum energy showed that with the addition of thyme emulsion produced with Tween 80, the maximum energy increased, but with the addition of thyme emulsion obtained from spray and rotary dryers, the maximum energy decreased. The highest moisture content is related to the edible film containing thyme emulsion obtained from Tween 80.

Keywords: edible film, emulsion, colorimetry, thyme, emulsion.



Shahrood university of technology
Faculty of Agriculture

M.Sc. Thesis in Food Industry

**Investigation of physical and mechanical properties of edible
film based on pectin and whey protein, containing thyme
essential oil by two methods of emulsion stabilized with zein
particles, chitosan and emulsifier Tween 80**

By: Haniyeh Nikbakht

Supervisor:

Dr. Ahmad Rajaei najaf abadi
Dr. Mohammad Hadi Movahednejad

May 2021