بررسی خواص فیزیکی، مکانیکی و مورفولوژی فیلم نانوکامپیوزیت آلژینات سدیم حاوی نانوذرات چربی جامد

فرود باقری[۱]، محسن رادی[۱*]، صدیقه امیری[۱]

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۹)

چکیده

بیشتر مواد بسته‌بندی غذایی از پلیمرهای غیرقابل تجزیه تولید می‌شوند که یک مشکل جدی زیست محیطی به‌حساب می‌آید. مواد طبیعی مثل پلی‌ساکاریدها، به‌عنوان جایگزین پلیمرهای سنتزی عرضه شده‌اند که آلودگی زیست محیطی را به حداقل می‌رسانند و نسبتا کم هزینه هستند. هدف از این مطالعه، بررسی تاثیر نانوذرات چربی بر مورفولوژی، خواص مکانیکی و ممانعت کنندگی فیلم آلژینات‌سدیم بود. برای این منظور نانوذرات چربی در سه سطح ۰/۰۲۵٪، ۰/۰۵٪ و ۰/۱٪ به فیلم آلژینات‌سدیم اضافه گردید و ویژگی‌های نوری، قدرت کشش، ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست، ضریب یانگ، نفوذپذیری به بخار آب و ریزساختار (SEM) فیلم‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانوذرات چربی جامد، ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست و نفوذپذیری به بخار آب افزایش یافت ($P<0/05$) ، در حالی‌که از نظر قدرت کشش و ضریب یانگ اختلاف آماری معنی‌داری با نمونه کنترل مشاهده نشد ($P<0/05$). فیلم‌های حاوی غلظت بالای نانوذرات چربی جامد (۰/۱٪)، کمی مایل به زرد بودند و کدورت بالایی داشتند ($P<0/05$). تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که استفاده از نانوذرات چربی جامد باعث ایجاد حفرات ریز در بافت فیلم آلژینات گردید که میزان این حفرات با افزایش غلظت نانوذرات، افزایش یافت. در نهایت نتایج به‌دست آمده از این کار نشان می‌دهند که نانوذرات چربی جامد برای افزایش انعطاف‌پذیری فیلم مناسب هستند اما اثر مثبتی بر ویژگی ممانعت کنندگی فیلم ندارند.

کلید واژگان: آلژینات سدیم، خواص مکانیکی، فیلم، نانوذرات چربی جامد

* مسئول مکاتبات: m.radi@iauyasooj.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-13]

۱- مقدمه

امروزه بیشتر مواد مورد استفاده برای بسته‌بندی مواد غذایی زیست تخریب ناپذیر هستند که می‌تواند مشکلات جدی برای محیط زیست ایجاد کند؛ به‌همین دلیل به‌منظور کاهش آلودگی محیطی ناشی از مواد بسته‌بندی پلاستیکی، بیوپلیمرها توسعه پیدا کرده‌اند [۱]. از این نظر، برای بسته‌بندی مواد غذایی، فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر گسترش یافته‌اند که می‌توانند به‌عنوان جایگزین برای پلیمرهای پتروشیمی استفاده شوند [۴،۳،۲]. در سال‌های اخیر، پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیری مانند کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها از منابع گیاهی یا حیوانی به‌عنوان جایگزین مواد غیرقابل تجزیه بسیار مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ این پلیمرها به‌آسانی در محیط تجزیه می‌شوند و باعث آلوده شدن محیط زیست نمی‌شوند [۱، ۵]. در این میان، کربوهیدرات‌ها بدلیل ارزان بودن، تولید فیلم‌هایی با ویژگی‌های خوب مکانیکی و خواص ممانعت کنندگی، به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱، ٦]. در میان پلی‌ساکاریدها، آلژینات به‌دلیل داشتن ویژگی‌های منحصر به‌فرد مثل خاصیت غلیظ‌کنندگی[1]، پایدارسازی[2]، معلق‌سازی[3]، تشکیل فیلم[4]، تولید ژل[5]، تثبیت امولسیون[6]، غیرسمی بودن، زیست تخریب‌پذیر بودن و زیست سازگار بودن برای استفاده جهت تولید بیوفیلم گزینه‌ی مناسبی می‌باشد [۸،۷،۱].

آلژینات سدیم، نمک آلژینیک اسید است [۱] که یک پلی‌ساکارید خطی محلول در آب است و از جلبک قهوه‌ای و هم‌چنین از میکروارگانیسم‌ها قابل تولید است. این پلیمر دارای ساختار خطی بدون انشعاب حاوی واحدهای دی مانورونیک‌اسید با اتصال $\beta\ (1\rightarrow4)$ و ال گلورونیک‌اسید با اتصال $\alpha\ (1\rightarrow4)$ می‌باشد [۸].

در سال‌های اخیر، به‌منظور بهبود ویژگی‌های مکانیکی و ممانعت‌کنندگی فیلم‌ها در مقابل گازها، کاربرد نانوتکنولوژی در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی به‌منظور تولید بیوپلیمرهای حاوی نانوذرات بسیار گسترش یافته است [۹]. یک نمونه از این مواد نانوفیلر، نانوذرات چربی جامد می‌باشد که ضمن این‌که سمیت و عوارض جانبی کمی دارند. به‌راحتی قابل تولید هستند و قابلیت خوبی برای صنعتی شدن دارند؛ به‌طور کلی، نانوذرات چربی جامد را به روش انرژی بالا (هموژنیزاسیون فشار بالا، اولتراسوند و ...) و انرژی پایین (انتشار حلال، امولسیون‌سازی با استفاده از حلال، میکروامولسیون و ...) می‌توان تولید کرد؛ در روش کم انرژی که امروزه مورد توجه قرار گرفته است، از حلال‌های قابل حل در آب مثل اتانول و استون که به‌سرعت در آب پخش می‌شوند و منجر به تولید نانوذرات چربی جامد می‌گردد، استفاده می‌شود [۱۰]. از نانوذرات سلولز [۷]، رس [۱، ۸] و نقره [۹] در فیلم آلژینات سدیم استفاده شده است اما استفاده از نانوذرات چربی جامد در بیوپلیمرها گزارش نشده است. هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر استفاده از نانوذرات چربی جامد بر مورفولوژی، خصوصیات مکانیکی و ممانعت‌کنندگی فیلم آلژینات‌سدیم بود تا این تحقیق راه‌گشایی باشد برای تسهیل استفاده از ترکیبات زیست‌فعال با استفاده از حامل‌های نانوذرات چربی در فیلم‌های غذایی و یا دارویی.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

در این مطالعه از آلژینات سدیم تهیه شده از شرکت بهین‌آزما، گلیسرول، توین ۸۰، استون و سیلیکاژل محصول شرکت مرک آلمان استفاده گردید.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- تهیه محلول آلژینات

در ابتدا محلول ۲٪ (وزنی/حجمی) آلژینات سدیم (Alg) حاوی گلیسرول (٦۰٪ وزن آلژینات) به‌عنوان نرم‌کننده با نسبت‌های محاسبه شده از نانوذرات چربی جامد[7] مخلوط و تیمارها مطابق جدول ۱ تولید شدند. محلول‌های تولید شده درون پلیت‌هایی با قطر ۹ سانتی‌متر ریخته شدند و به‌منظور کنترل ضخامت فیلم، حجم محلول استفاده شده در هر پلیت،

1.Thickening
2. Stabilizing
3. Suspending
4. Film forming
5. Gel producing
6. Emulsion stabilizing

7. Solid lipid nanoparticle

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-13]

۱۵ میلی‌لیتر درنظر گرفته شد. سپس پلیت‌های حاوی محلول در دمای ۲۵ درجه‌سانتیگراد و رطوبت نسبی ثابت (٤٠٪) خشک گردیدند.

۲-۲-۲- تهیه نانوذرات چربی جامد

جهت تولید نانوذرات چربی جامد (SLN) از روش لوو و همکاران [۱۰] با کمی تغییر استفاده شد. در این کار از روش ترکیبی انتشار حلال و همگن‌سازی داغ استفاده گردید. برای این منظور، ابتدا 5 گرم چربی در ۱۰۰ میلی‌لیتر استون به‌عنوان حلال به‌طور کامل حل شد و سپس در حمام آب گرم (۷۰ درجه سانتیگراد) حرارت داده شد. سپس ۸۰ میلی‌لیتر از این محلول با ٤٠٠ میلی‌لیتر محلول آبی حاوی ۵ گرم توین ۸۰ از قبل حرارت داده شده در همین دما مخلوط شد. در مرحله‌ی بعد محلول در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه، به مدت ۱۰ دقیقه در ۷۰ درجه‌سانتیگراد هموژن گردید و سپس به‌سرعت سرد شد.

Table 1 The ratio of compounds used for production of sodium alginate films incorporated with solid lipid nanoparticles

Solid lipid nanoparticle 1% (ml)	Distilled water (ml)	Alginate solution 2% (ml)	Samples
0	50	50	**Alg1%***
2.50	47.50	50	**Alg1%-SLN** 0.025%**
5	45	50	**Alg1%-SLN 0.05%**
10	40	50	**Alg1%-SLN 0.1%**

*Alg: Sodium alginate; **SLN: Solid lipid nanoparticle

۲-۲-۳- ویژگی‌های نوری

رنگ فیلم‌های نشاسته با استفاده از رنگ‌سنج هانترلب (Konica Minolta CR400, Japan) تعیین شد. نمونه‌های فیلم روی یک صفحه‌ی سفید استاندارد (L*= 95.44, a*= -0.47, b*= 2.51) قرار داده شدند. پارامترهای L^* از سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰)، a^* از سبز (-) تا قرمز (+) و b^* از آبی (-) تا زرد (+) محاسبه شدند. اختلاف رنگ با فرمول زیر محاسبه شد:

$$1) \qquad \sqrt{((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)}$$

عبور نور فیلم‌ها طبق روش ابوفتیله و همکاران [۱] اندازه‌گیری شد. برای این منظور، فیلم‌ها به قطعات مستطیل شکل بریده شدند و درون سل دستگاه اسپکتروفوتومتر (T80+, UK) قرار داده شدند. هم‌چنین یک سل خالی به‌عنوان رفرنس در نظر گرفته شد. کدورت با استفاده از معادله‌ی زیر محاسبه شد:

کدورت = میزان جذب در طول موج ٦٠٠ نانومتر / ضخامت فیلم (میلی‌متر)

۲-۲-٤- قدرت کشش، مدول کشش و افزایش طول در نقطه‌ی شکست

قبل از انجام آزمون‌ها، فیلم‌ها به‌مدت حداقل ۲٤ ساعت در دمای ۱/۰±۲۵ درجه‌سانتیگراد و رطوبت ۲±۵۰٪ نگهداری شدند تا به تعادل برسند. سپس قدرت کشش[8]، مدول کشش[9] و افزایش طول در نقطه شکست[10] فیلم‌ها با استفاده از دستگاه کشش (STM U20, Iran) مجهز به لود سل ٦٠ نیوتن اندازه‌گیری شد. نمونه‌های مورد آزمون به شکل مستطیل با اندازه‌ی طول ۷ سانتی‌متر، عرض ۱ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۳۵-۰/۲۵ میلی‌متر و مطابق روش استاندارد ASTM/D638-91 مورد آزمون قرار گرفتند. فاصله‌ی ابتدایی جدایی ۳ سانتی‌متر و سرعت انجام آزمایش ۱۰ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. قدرت کشش (مگاپاسکال) و افزایش طول در نقطه شکست (میلی‌متر) به‌صورت اتوماتیک با استفاده از برنامه‌ی آزمون اندازه‌گیری شدند، در حالی‌که برای محاسبه‌ی مدول کشش، شیب قسمت خطی نمودار در نظر گرفته شد.

8.Tensile strengh
9.Youngs modulus
10. Elongation at break

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-13]

۲-۲-۵- نفوذپذیری بخار آب[11] (WVP)

نفوذپذیری بخار آب فیلم‌ها با استفاده از روش وزن‌سنجی و مطابق روش ASTM 15.09: E96 (1983) انجام شد. فیلم‌ها روی ظروف حاوی سیلیکاژل (RH=0) ثابت شدند و در دمای ۲۵ درجه‌سانتیگراد و رطوبت ۷۶٪ به‌مدت ۲٤ ساعت قرار گرفتند. مقدار بخار آب عبور کرده و جذب شده از فیلم با محاسبه‌ی اختلاف وزن تعیین شد. تغییر وزن نمونه‌ها تا دقت ۰/۰۰۰۱ گرم ثبت گردید و به‌منظور کاهش خطا، توزین نیز در دمای ۲۵ درجه‌سانتیگراد و رطوبت ۷۶٪ صورت گرفت. نفوذپذیری بخار آب با استفاده از معادله‌ی زیر محاسبه شد:

$$3)\ WVP\ (g\ mm/m^2\ day\ KPa) = X\Delta W/A\Delta P$$

X: ضخامت فیلم (میلی‌متر)، ΔW :اختلاف وزن بعد از 24 ساعت (گرم)، A: مساحت فیلم (متر مربع) و ΔP : اختلاف فشار دو طرف فیلم در 25 درجه‌سانتیگراد (کیلو پاسکال)

۲-۲-٦- آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

جهت بررسی ریزساختار فیلم‌های تولید شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (Cambridge scanning electron microscope Model 5526, 20 KV, UK) استفاده شد. قبل از اندازه‌گیری، فیلم‌ها پودر و سپس تحت خلا با طلا/پالادیوم پوشش داده شدند و مورفولوژی سطح و مقطع فیلم طی میکروگرافی 5 کیلو ولت مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲-۲-۷- روش آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۱) تجزیه و تحلیل شد. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ استفاده شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۰ رسم گردیدند.

۳- نتایج وبحث

۳-۱- ویژگی‌های نوری

رنگ یک ویژگی مهم فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر است زیرا می‌تواند در پذیرش محصول غذایی از سوی مصرف‌کننده موثر باشد[۱] نتایج اندازه‌گیری رنگ فیلم‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است. طبق نتایج مولفه‌های b^*، تفاوت آماری معنی‌داری بین نمونه‌ها مشاهده شد به‌طوری که نمونه‌های حاوی نانوذرات چربی جامد کمی مایل به زرد بودند ($P<۰/۰۵$). از لحاظ فاکتورهای a^*، L^* و اختلاف رنگ، بین فیلم‌های حاوی نانوذرات چربی جامد با نمونه‌ی کنترل، تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد ($P<۰/۰۵$).

ویژگی نوری دیگری که بررسی شد، کدورت بود. اندازه‌گیری کدورت شاخصی برای شفافیت فیلم است؛ به این معنی‌که میزان بالای کدورت، نشان دهنده‌ی شفافیت کمتر است و از آنجا که میزان شفافیت تاثیر مستقیم روی ظاهر محصول بسته‌بندی دارد، از ویژگی‌های مهم فیلم محسوب می‌شود[۱] نتایج جذب نور فیلم آلژینات و فیلم‌های آلژینات حاوی نانوذرات چربی جامد در جدول (۲) نشان داده شده است. با اضافه کردن نانوذرات چربی جامد، شفافیت فیلم‌ها کاهش یافت که این روند با افزایش غلظت نانوذرات چربی جامد بیشتر مشهود بود ($P<۰/۰۵$). کاهش مقدار نور عبوری از فیلم‌های حاوی نانوذرات منجر به افزایش کدورت گردید [۱۱] که منشا فیزیکوشیمیایی این اثرات نوری می‌تواند به پراکندگی نور توسط قطرات کوچک چربی تولید شده در فرایند تولید نانو ذرات نسبت داده شود [۱۲]. چن وهمکاران [۱۲] ویژگی‌های نوری فیلم چیتوسان حاوی نانوامولسیون سینام‌آلدهید را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که افزایش غلظت نانوامولسیون سینام‌آلدهید، سبب افزایش کدورت فیلم شد. رانگسین و همکاران [۱۳] ویژگی نوری فیلم تولید شده از پروتئین آب‌پنیر حاوی نانوذرات رس را بررسی کردند و مشاهده کردند که کدورت فیلم حاوی نانوذرات رس نسبت به نمونه کنترل کمتر شد و دلیل اصلی آن را تجمع نانوذرات و در نتیجه جلوگیری از عبور نور بیان کردند. در مطالعات دیگری که روی فیلم نشاسته ذرت و پروتئین سویا همراه با نانوذرات پروتئین بادام‌زمینی[۱٤] فیلم نشاسته حاوی نانوذرات نشاسته [۱۵] و فیلم نشاسته کینوآ[12] حاوی نانوذرات طلا انجام شد، کدورت فیلم‌های تولید شده نسبت به نمونه کنترل افزایش یافت.

11.Water vapor permeability

12. Quinoa

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-13]

Table 2 Optical properties (L*, a*, b* indices and ΔE) of sodium alginate films incorporated with solid lipid nanoparticles

*نمونه‌ها	L*	a*	b*	ΔE	کدورت
Alg1%	92.84±0.14[a]	- 0.72±0.01[a]	3.12±0.05[b]	89.23±0.15[a]	1.53±0.34[c]
Alg1%-SLN 0.025%	92.64±0.56[a]	-0.73±0.02[a]	3.18±0.03[ab]	89.23±0.24[a]	2.82±0.18[b]
Alg1%-SLN 0.05%	93.06±0.35[a]	-0.73± 0.01[a]	3.29±0.05[a]	89.28±0.23[a]	2.91±0.13[b]
Alg1%-SLN 0.1%	93.29±0.37[a]	- 0.77±0.02[a]	3.31±0.07[a]	89.53±0.14[a]	3..34±0.19[a]

*Values with similar letters in the same column are not significantly different (P > 0.05).

۳-۲- قدرت کشش، ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست و مدول یانگ

ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها، یکپارچگی و کارایی آنها را طی دوره‌ی نگهداری و حین مصرف تعیین می‌کند [۱۲] طی فرایند تشکیل فیلم و با توجه به وجود ترکیبات پیچیده‌ای مثل بیوپلیمرها، حلال‌ها، لیپیدها و پلاستی‌سایزرها ممکن است واکنش‌های مختلفی اتفاق بیفتد و در نتیجه بر ساختار و ویژگی‌های مکانیکی فیلم اثر بگذارد [۱۶] فاکتورهای اندازه‌گیری شده شامل قدرت کشش، ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست و ضریب یانگ بودند که به‌ترتیب برای تعیین اندازه‌گیری قدرت[13]، انعطاف‌پذیری[14] و سفتی[15] نمونه‌ها استفاده شدند (جدول ۳). بین نمونه کنترل (Alg) و فیلم‌های حاوی نانوذرات چربی جامد (Alg1%-SLN 0.025%، Alg1%-SLN 0.05% و Alg1%-SLN 0.1%) از نظر قدرت کشش و ضریب یانگ، تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (P<۰/۰۵)، اما میزان ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست در فیلم‌های حاوی نانوذرات چربی جامد بیشتر از نمونه فیلم Alg بود (P<۰/۰۵) یعنی رفتار پلاستیک قوی‌تری را در مقایسه با نمونه کنترل نشان دادند. افزایش در غلظت نانوذرات چربی جامد از 0.025% به 0.1% تاثیری بر میزان ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست نداشت (P<۰/۰۵). در مطالعاتی که بر فیلم آلژینات سدیم حاوی اسانس روغنی علف‌لیمو[16] و پونه کوهی [۱۷] و نیز فیلم پکتین حاوی اسانس دارچین و میخک [۱۸] انجام گرفت، مشاهده شد که ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست افزایش یافت که این امر به اثر نرم‌کنندگی اسانس‌های روغنی نسبت داده شد. در این تحقیق قدرت کشش فیلم Alg، ۲۲/۳۳ مگاپاسکال بود که نسبت به نتایج مطالعات ابوفتیله و همکاران [۱] و وانگ و همکاران [۶] به‌ترتیب بیشتر و کمتر بود که ممکن است به نوع آلژینات مورد استفاده و شرایط تشکیل فیلم مرتبط باشد. گفته می‌شود که اسانس‌های روغنی در فیلم‌های خوراکی مقاومت به کشش و سفتی را کاهش می‌دهند و ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست را افزایش می‌دهند [۱۹] زونیکا و همکاران [۲۰] گزارش کردند که اضافه کردن روغن به فرمول فیلم خوراکی منجر به کاهش انسجام فیلم می‌شود درحالی که در مطالعه‌ی دیگری که روی فیلم سدیم‌آلژینات حاوی نانوامولسیون آویشن، علف‌لیمو و مریم‌گلی انجام شد، فیلم‌های تولید شده نسبتا مقاوم بودند که نگارندگان این تحقیق دلیل این امر را به میزان کم اسانس نسبت دادند. در همین مطالعه فیلم حاوی نانوامولسیون مریم‌گلی ازدیاد طول زیادی را نسبت به فیلم آلژینات نشان داد [۱۱].

۳-۳- نفوذپذیری به بخار آب (WVP)

به انتشار مولکول‌های آب از سطح مقطع فیلم، نفوذپذیری به بخار آب گفته می‌شود که می‌توان با استفاده از این ویژگی میزان ممانعت‌کنندگی فیلم را تخمین زد. به‌منظور جلوگیری در از دست رفتن آب محصولات غذایی یا کاهش آن، فیلم‌های مورد استفاده باید بتوانند انتشار آب از محصول به محیط را کنترل کنند؛ از این‌رو نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها باید تا حد ممکن پایین باشد[۲۱] نتایج آزمون نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری بین نفوذپذیری به بخار آب نمونه‌ی Alg1% (۲/۳۷ g mm/m^2 day KPa) با نمونه‌های Alg1%-SLN 0.025% و Alg1%-SLN 0.05% مشاهده نشد، اما با افزایش بیشتر غلظت نانوذرات چربی نفوذپذیری فیلم به ۳/۵۱ g mm/m^2 day KPa افزایش یافت. تصاویر حاصل از میکروسکوپ نوری (شکل ۱) نشان می‌دهند که نانوذرات چربی جامد باعث ایجاد حفره‌های ریزی در بافت فیلم شده‌اند که این حفره‌ها در سطح مقطع فیلم به‌خوبی قابل مشاهده هستند (شکل ۱)؛ در حالی‌که این

13. Strength
14. Flexibility
15. Stiffness
16 . lemongrass

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-13]

حفره‌های ریز در فیلم کنترل مشاهده نمی‌شوند. افزایش نفوذپذیری در فیلم‌های حاوی نانو ذرات چربی را می‌توان به بافت متخلخل آن‌ها مربوط دانست. در مطالعات چن و همکاران [۱۲] بر فیلم چیتوسان حاوی نانوامولسیون سینام‌آلدهید، نفوذپذیری نمونه‌های حاوی نانوامولسیون نسبت به کنترل افزایش یافت که این افزایش را به وجود حفره‌های ریز موجود در فیلم نسبت دادند؛ در حالی‌که در مطالعه آتونی و همکاران [۱۹] نفوذپذیری فیلم پکتین حاوی نانوامولسیون کاهش یافت. نتایج این تحقیق نشان داد که نانوذرات چربی جامد جهت کاهش نفوذپذیری به بخار آب مناسب نمی‌باشد و طبق مطالعات، در صورتی که هدف اصلی استفاده از نانوذرات در فیلم، کاهش نفوذپذیری به بخار آب باشد، استفاده از نانوذرات سلولز [۷، ۲۲] گزینه‌ی بهتری است.

Table 3 Mechanical properties and water vapor permeability of sodium alginate films incorporated with solid lipid nanoparticles

Water vapor permeability	Youngs modulus	EAB%	TS	Samples*
2.37±0.20[b]	7.06±0.09[a]	9.33±1.19[b]	22.33±5.13[a]	**Alg1%**
2.73±0.39[ab]	6.17±1.04[a]	23.49±[a]2.17[a]	27.83±6.22[a]	**Alg1%-SLN 0.025%**
3.26±0.58[ab]	5.83±0.76[a]	26.00±2.36[a]	25.00±2.00[a]	**Alg1%-SLN 0.05%**
3.51±0.75[a]	7.00±1.00[a]	28.33±3.10[a]	26.39±2.37[a]	**Alg1%-SLN 0.1%**

*Tensile strength (TS)؛ Elongation at break (EAB%) .

**Values with similar letters in the same column are not significantly different (P > 0.05).

۳-٤- بررسی ریزساختار فیلم‌ها

جهت بررسی ریزساختار فیلم‌های تولید شده از تصاویر SEM استفاده گردید. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، فیلم Alg1%-SLN 0.1% دارای حفره‌های ریزی می‌باشد که میزان این حفره‌ها با کاهش غلظت نانوذرات چربی جامد کمتر شده است، به‌طوری که در فیلم Alg حفره‌ای مشاهده نمی‌شود و بافت هموژن‌تری به‌دست آمده است. برخی وقوع این پدیده را به مهاجرت قطره‌های کوچک روغن به سطح فیلم طی فرایند خشک کردن نسبت داده‌اند[۲۳] نتایج این تحقیق با مشاهدات آکویدو و همکاران [۱۱] که از نانوامولسیون اسانس روغنی آویشن و علف‌لیمو در فیلم آلژینات استفاده کرده بودند مطابقت دارد. با توجه به تصاویر، نتایج با آزمون نفوذ پذیری به بخار آب که در آن بالاترین میزان WVP برای فیلم Alg1%-SLN 0.1% ثبت شد، هم‌خوانی دارد.

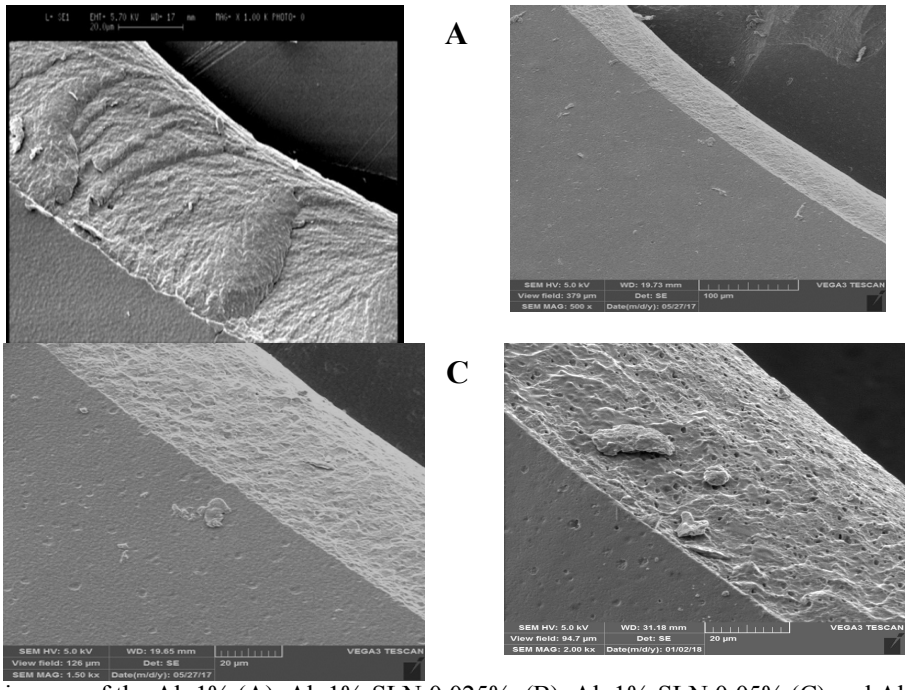

Fig 1 SEM images of the Alg1% (A), Alg1%-SLN 0.025% (B), Alg1%-SLN 0.05% (C) and Alg1%-SLN 0.1% (D).

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-13]

٤- نتیجه‌گیری

در این مطالعه برخی خصوصیات فیلم آلژینات سدیم حاوی نانوذرات چربی جامد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که نانوذرات چربی تاثیری بر قدرت کشش و ضریب یانگ نداشت، اما باعث افزایش ازدیاد طول در نقطه شکست گردید. به این ترتیب استفاده از ناوذرات چربی جامد در فیلم آلژینات توانست انعطاف‌پذیری فیلم را بهبود بخشد که این امر می‌تواند در برخی کاربردهای بسته‌بندی، نکته‌ی مثبتی محسوب شود. هم‌چنین نانوذرات چربی منجر به افزایش کدورت فیلم‌ها شد که بسته به نوع استفاده از فیلم می‌تواند مزیت (مثلا برای مواد غذایی حساس به نور) یا نقص (از نظر بازار پسندی) به‌حساب آید. برخلاف انتظار، استفاده از نانوذرات چربی منجر به افزایش نفوذپذیری فیلم به بخار آب گردید که لازم است در استفاده از آن برای غذاهای مرطوب دقت لازم به‌عمل آید. در نهایت پیشنهاد می‌شود که از نانوذرات چربی جامد برای بسته‌بندی غذاهای حساس به نور و جایی که نیاز مبرم به فیلم منعطف می‌باشد، استفاده گردد. هم‌چنین می‌توان با استفاده از نانوذرات چربی جامد، فیلم‌های فعال ضداکسایشی و ضدمیکروبی تولید کرد و به این ترتیب قابلیت نگهداری مواد غذایی را بسیار بهبود بخشید.

٥- منابع

[1] Alboofetileh, M., Rezaei, M., Hosseini, H., Abdollahi, M. (2014). Antimicrobial activity of alginate/clay nanocomposite films enriched with essential oils against three common foodborne pathogens. *Food Control.,* 36(1), 1-7.

[2] Denavi, G., Tapia-Blácido, D.R., Añón, M.C., Sobral, P.J.A., Mauri, A.N., Menegalli, F.C. (2009). Effects of drying conditions on some physical properties of soy protein films. *Journal of Food Engineering.,* 90(3), 341-349.

[3] Soazo, M., Rubiolo, A.C., Verdini, R.A. (2011). Effect of drying temperature and beeswax content on physical properties of whey protein emulsion films. *Food Hydrocolloids.,* 25(5), 1251-1255.

[4] Souza, A.C., Benze, R., Ferrão, E. S., Ditchfield, C ,.Coelho, A.C.V., Tadini, C.C. (2012). Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. *LWT - Food Science and Technology.,* 46(1), 110-117.

[5] Shahbazi, M., Ahmadi, S.J., Seif, A., Rajabzadeh, G. (2016). Carboxymethyl cellulose film modification through surface photo-crosslinking and chemical crosslinking for food packaging applications. *Food Hydrocolloids.,* 61, 378-389.

[6] Wang, L. F., Shankar, S., Rhim, J. W. (2017). Properties of alginate-based films reinforced with cellulose fibers and cellulose nanowhiskers isolated from mulberry pulp. *Food Hydrocolloids.,* 63, 201-208 .

[7] Huq, T., Salmieri, S., Khan, A., Khan, R.A., Le Tien, C., Riedl, B., Lacroix, M. (2012). Nanocrystalline cellulose (NCC) reinforced alginate based biodegradable nanocomposite film. *Carbohydrate Polymers.,* 90(4), 1757-1763.

[8] Alboofetileh, M., Rezaei, M., Hosseini, H., Abdollahi, M. (2014). Antimicrobial activity of alginate/clay nanocomposite films enriched with essential oils against three common foodborne pathogens. *Food Control.,* 36(1), 1-7.

[9] Shankar, S., Wang, L. F., Rhim, J. W. (2016). Preparations and characterization of alginate/silver composite films: Effect of types of silver particles. *Carbohydrate Polymers.,* 146, 208-216 .

[10] Luo, Y., Teng, Z., Li, Y., Wang, Q. (2015). Solid lipid nanoparticles for oral drug delivery: chitosan coating improves stability, controlled delivery, mucoadhesion and cellular uptake. *Carbohydrate Polymers.,* 122, 221-229 .

[11] Acevedo-Fani, A., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M.A., Martín-Belloso, O. (2015). Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids.,* 47, 168-177 .

[12] Chen, H., Hu, X., Chen, E., Wu, S., McClements, D.J., Liu, S., Li, Y. (2016). Preparation, characterization, and properties of chitosan films with cinnamaldehyde nanoemulsions. *Food Hydrocolloids.,* 61, 662-671.

[13] Sothornvit, R., Hong, S. I., An ,D.J., Rhim, J. W. (2010). Effect of clay content on the physical and antimicrobial properties of whey protein isolate/organo-clay composite films. *LWT-Food Science and Technology.,* 43(2), 279-284 .

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-13]

[14] Li, X., Ji, N., Qiu, C., Xia, M., Xiong, L., Sun, Q. (2015). The effect of peanut protein nanoparticles on characteristics of protein- and starch-based nanocomposite films :A comparative study. *Industrial Crops and Products, 77*, 565-574 .

[15] Fan, H., Ji, N., Zhao, M., Xiong, L., & Sun, Q. (2016). Characterization of starch films impregnated with starch nanoparticles prepared by 2, 2, 6, 6-tetramethylpiperidine-1-oxyl (TEMPO)-mediated oxidation. *Food chemistry.,* 192, 865-872 .

[16] Fernández-Pan, I., Ziani, K., Pedroza-Islas, R., Maté, J. (2010). Effect of drying conditions on the mechanical and barrier properties of films based on chitosan. Drying Technology., 28(12), 1350-1358 .

[17] Rojas-Graü, M.A., Raybaudi-Massilia, R.M., Soliva-Fortuny, R.C., Avena-Bustillos, R.J., McHugh, T.H., Martín-Belloso, O. (2007). Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. Postharvest biology and Technology., 45(2), 254-264 .

[18] Du, W.X., Olsen, C., Avena Bustillos, R., McHugh, T., Levin, C., Friedman, M. (2009). Effects of allspice, cinnamon, and clove bud essential oils in edible apple films on physical properties and antimicrobial activities. Journal of Food Science., 74(7).

[19] Otoni, C.G., de Moura, M.R., Aouada, F.A., Camilloto, G.P., Cruz, R.S., Lorevice, M.V., Mattoso, L.H. (2014). Antimicrobial and physical-mechanical properties of pectin/papaya puree/cinnamaldehyde nanoemulsion edible composite films. *Food Hydrocolloids.,* 41, 188-194 .

[20] Zúñiga, R., Skurtys, O., Osorio, F., Aguilera, J., Pedreschi, F. (2012). Physical properties of emulsion-based hydroxypropyl methylcellulose films: effect of their microstructure. *Carbohydrate Polymers.,* 90(2), 1147-1158 .

[21] Ma, X., Chang, P.R., Yu, J. (2008). Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. *Carbohydrate Polymers.,* 72(3), 369-375 .

[22] Aila-Suárez, S ,.Palma-Rodríguez, H.M., Rodríguez-Hernández, A.I., Hernández-Uribe, J.P., Bello-Pérez, L.A., Vargas-Torres, A. (2013). Characterization of films made with chayote tuber and potato starches blending with cellulose nanoparticles. *Carbohydrate Polymers.,* 98(1), 102-107.

[23] Sánchez-González, L., Cháfer, M., Hernández, M., Chiralt, A., González-Martínez, C. (2011). Antimicrobial activity of polysaccharide films containing essential oils. *Food Control.,* 22(8), 1302-1310.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-13]

Evaluating the physical, mechanical and morphological properties of sodium alginate nanocomposite film containing solid lipid nano-particles

Bagheri, F. [1], Radi, M. [1*], Amiri, S. [1]

1. Department of Food Science and Technology, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran

(Received: 2018/05/20 Accepted:2019/01/19)

Most of the food packaging materials are produced from nondegradable polymers which has become a serious environmental problem. Natural ingredients based on polysaccharides, offer an alternative for synthetic packagings that minimize the environmental pollution with a relatively low cost. The aim of this study was to evaluate the effect of solid lipid nanoparticles (SLN) on morphology, mechanical and barrier properties of sodium alginate film. For this purpose, the nanoparticles were added at concentrations of 0.025%, 0.5% and 0.1% into the alginate films and optical properties, tensile strength, elongation at break (%), Young's modulus, water vapor permeability (WVP) and the nano-structured of films were evaluated. As SLN concentration increased, elongation at break and WVP increased significantly ($p<0.05$), while no significant differences were found in the tensile strength and Young's modulus ($p>0.05$). Films containing a high concentration of SLN (0.1%), were slightly yellowish in color and their opacity value increased significantly ($p<0.05$). The scaning electron micrographs showed that addition of SLN resulted in a hole-like structure in the film texture, which increased with nano-particles' concentration. Results obtained in the present work exhibited that the incorporation of SLN in alginate film was suitable for increasing the film flexibility but it had no positive effect on the film barrier properties.

Key words: Film, Mechanical properties, Sodium alginate, Solid lipid nanoparticle

*Correspondig Author E-mail address: m.radi@iauyasooj.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-13]