

تهیه و بررسی رفتار پاداکسندگی فیلم‌های خوراکی بر پایه کربوکسی‌متیل سلولز حاوی روغن اسانس نعنا و روغن زیتون

سیما پوربیرام^{۱*} و مهسا کوشش^۲

۱. دانشیار، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

دریافت: بهمن ۱۴۰۱ بازنگری: فروردین ۱۴۰۲ پذیرش: خرداد ۱۴۰۲



10.30495/JACR.2023.1978782.2094



20.1001.1.27835324.1402.17.2.5.1

چکیده

ساخت فیلم‌های خوراکی بر پایه بسیار زیست‌تخریب‌پذیر کربوکسی‌متیل سلولز حامل اسانس استخراج‌شده از گیاه نعنا، به‌عنوان منبع پاداکسند، در این کار گزارش شده است. برای بهبود کیفیت این فیلم‌ها از موادی مانند کلسیم آسکوربات به‌عنوان پیونددهنده، ساکاروز به‌عنوان کشسان‌کننده، روغن زیتون به‌عنوان آب‌گریزکننده فیلم‌ها استفاده شده است. نتیجه‌های آزمون‌های کنترل کیفی که بر فیلم‌ها انجام شد، نشان داد که افزودن اسانس نعنا و روغن زیتون موجب بهبود معنادار کیفیت فیلم پایه شده است. به‌طوری‌که در فیلم اصلاح‌شده رطوبت ۲۷ درصد، تورم ۳۱ درصد، حلالیت ۳۰ درصد و نفوذپذیری بخار آب ۳۹ درصد کاهش یافت. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از نمودارهای تنش-کرنش نشان داد با افزودن کلسیم آسکوربات به ترکیب فیلم، میانگین مقاومت کششی ۳/۸ برابر و ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست ۲/۳ برابر افزایش یافت. با توجه به اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی، فیلم‌های حاوی اسانس نعنا ویژگی پاداکسندگی داشتند و پایداری و کارایی اسانس در داخل آن‌ها زیاد بود.

واژه‌های کلیدی: فیلم خوراکی، اندازه‌گیری الکتروشیمیایی، پاداکسند، نعنا.

مقدمه

بسته‌بندی‌ها پیامدهای جدی آلودگی‌های زیست‌محیطی و گرمایش زمین است. این‌گونه بسته‌بندی‌ها همچنین، با توجه به اینکه می‌توانند حامل مواد پاداکسیدانی و پادباکتری باشند بسیار حائز اهمیت هستند. با توجه به این که تمام اجزای به‌کاررفته در این نوع پوشش‌ها به‌طور کامل بی‌خطر هستند جایگزینی بسیار مناسب برای بسته‌بندی‌ها بر پایه مواد نفتی هستند [۱ تا ۵].

نگرش کلی برای ساخت فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر، خوراکی و بی‌خطر بودن و نیز سازگار بودن با محیط‌زیست است. پایه ساخت این فیلم‌ها بسپارهای زیستی مانند کربوکسی‌متیل سلولز^۱ (CMC) است. امروزه دلیل توجه بسیار زیاد بر این گونه

1. Carboxymethyl cellulose (CMC)

با وجود قابلیت استفاده از زیست‌بسپارها در تولید فیلم‌هایی با ویژگی‌های ظاهری و مکانیکی مطلوب، آب‌دوستی به نسبت بالای آن‌ها موجب کاربرد محدود آن‌هاست. دلیل اصلی افزودن لیپیدها به داخل فیلم‌ها افزایش ویژگی آب‌گریزی آن‌هاست. اسیدهای چرب و روغن‌های خوراکی مانند روغن زیتون، از مشتق‌های لیپیدی هستند که می‌توانند به بهبود ویژگی مقاومت در برابر رطوبت فیلم‌های زیست‌بسپار کمک کنند [۱۱]. روغن زیتون در دمای اتاق مایع است، از این رو، به راحتی قابل اختلاط با زیست‌بسپارها، بدون نیاز به گرما است. افزون بر آن، به علت داشتن ترکیب‌های پلی‌فنلی و پاداکسندگی، موجب افزایش ایمنی مواد غذایی می‌شود. از دیگر اجزای به کاررفته در داخل پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر می‌توان به پاداکسندها اشاره کرد. منابع بسیاری برای استخراج پاداکسندها می‌توان نام برد ولی از مهم‌ترین منابع که دارای پاداکسندهای زیستی هستند، می‌توان به گیاهان دارویی اشاره کرد. اسانس‌های گیاهان دارویی ویژگی پاداکسندگی خوبی برای ساخت این گونه فیلم‌ها دارند. پاداکسندها به علت خنثی کردن اثر اکسندگی موجب جلوگیری از اکسید و خراب شدن مواد غذایی، افزایش طول عمر و ایمنی آن‌ها و نگهداری بهینه مواد غذایی می‌شوند [۱۲].

در این کار پژوهشی، فیلم خوراکی بر پایه کربوکسی‌متیل سلولز حاوی اسانس نعنا و روغن زیتون ساخته شده است. حضور همزمان اسانس نعنا و روغن زیتون اثر هم‌افزایی در بهبود ویژگی‌های ظاهری و فیزیکی فیلم داشتند. ویژگی پاداکسندگی فیلم‌های تهیه شده به روش‌های الکتروشیمیایی و با استفاده از مغز مدام ارزان و در دسترس، بررسی شد.

بخش تجربی

مواد و تجهیزات

مواد به کار رفته در ساخت فیلم‌ها شامل کربوکسی‌متیل سلولز با گران‌روی متوسط (CMC)، کلسیم آسکوربات و ساکاروز از شرکت سیگما-آلدریج تهیه شدند. اسانس نعنا با

بسپارهای زیست‌تخریب‌پذیر مورد استفاده در تولید فیلم‌ها را می‌توان به دو گروه طبیعی و سنتزی تقسیم کرد.

از بسپارهای سنتزی می‌توان مشتق‌های سلولز از جمله متیل سلولز، هیدروکسی‌پروپیل سلولز، هیدروکسی‌پروپیل‌متیل سلولز، کربوکسی‌متیل سلولز و سلولز میکروبلوری اشاره کرد. سلولز فراوان‌ترین زیست‌بسپار موجود در طبیعت است که به دلیل سهولت تولید، زیست‌تخریب‌پذیری بالا و قیمت کم آن، توجه به استفاده از این زیست‌بسپار در تولید مواد بسته‌بندی، به صورت روزافزون در حال افزایش است. کربوکسی‌متیل سلولز یکی از مشتق‌های سلولز و زیست‌بسپاری خطی و محلول در آب است. کربوکسی‌متیل سلولز توانایی تشکیل فیلم‌های مقاوم، شفاف، پیوسته و یکنواخت را دارد [۶ و ۷]. فیلم‌های خوراکی باید یک ساختار منعطف و کششی داشته باشند تا به آسانی بر سطح غذا قابل استفاده و ترکیب آن نیز با محیط‌زیست سازگار باشد. نرم‌کننده‌ها با ضعیف کردن نیروهای بین مولکولی بین زنجیره‌ای بسیاری مجاور، سبب کاهش شکنندگی، افزایش انعطاف‌پذیری و مقاومت در برابر پارگی فیلم‌های خوراکی می‌شوند. نرم‌کننده‌ها باید با بسپار و در صورت امکان حلال سازگار باشند. در این فیلم‌ها به جای گلیسرول از قندهای طبیعی مانند ساکاروز که یک ماده به‌طور کامل بی‌خطر است، به عنوان نرم‌کننده استفاده می‌شود [۸]. برای شبکه‌ای کردن ساختار فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر و ایجاد پیوندهای عرضی با کربوکسی‌متیل سلولز از مواد پیونددهنده استفاده می‌شود که به‌طور معمول یک نمک فلزی هستند و یک زنجیره بسپار را به صورت اشتراکی به یک زنجیره بسپار دیگر پیوند می‌دهد. زمانی که این ترکیب‌ها به فیلم پایه افزوده می‌شوند موجب ایجاد ترکیب پیچیده‌ای می‌شوند که به شدت ویژگی‌های عملکردی آن بهبود می‌یابد. کلسیم آسکوربات یک پیوند دهنده است که به علت بی‌خطر بودن آن در ساخت فیلم‌های خوراکی استفاده و موجب می‌شود ساختار بسپار فیلم‌ها شبکه‌ای و پیچیده شود. همچنین، موجب افزایش مقاومت فیلم‌ها در برابر بخار آب می‌شود [۹ و ۱۰].

تعیین درصد تورم؛ ابتدا قطعه‌ای از فیلم‌های خشک‌شده وزن شد (W_0). سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر روی آن ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای 25°C قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت آب اضافی نمونه خارج و نمونه وزن شد تا وزن فیلم پس از تورم به دست آید (W_e). این کار را با سه بار تکرار برای سه نمونه دیگر هم، انجام شد. سپس، با معادله ۲ درصد تورم فیلم به دست آمد.

$$x = \frac{w_e - w_0}{w_0} \times 100 \quad (2)$$

تعیین درصد حلالیت؛ لایه‌های متورم‌شده از آزمون پیشین در داخل آون قرار داده شدند تا دوباره به‌طور کامل خشک شوند و آب خود را به‌طور کامل از دست بدهند تا وزن آن‌ها ثابت شود. سپس، شیشه‌ها ساعت‌های حاوی نمونه‌های فیلم به‌طور کامل خشک‌شده با ترازو وزن شدند و وزن شیشه ساعت‌ها از وزن مجموعه کم شد تا وزن فیلم خشک باقی‌مانده به دست آید (W_d). با معادله ۳ درصد حلالیت نمونه‌های فیلم به دست آمدند.

$$X = \frac{W_0 - W_d}{W_0} \times 100 \quad (3)$$

تعیین مقدار نفوذ بخار آب؛ ابتدا سیلیکاژل‌ها در داخل آون با دمای بالای 100°C قرار داده شدند تا به‌طور کامل خشک شوند. پس از آن، لوله‌های آزمایش با ۱۰ گرم سیلیکاژل به‌طور کامل خشک‌شده، پر شدند. سپس، دهانه هر لوله را با یک تکه مربع شکل از فیلم به‌طور کامل مهر و موم و در داخل خشکانه حاوی آب قرار داده شدند. پس از یک شبانه روز، سیلیکاژل‌های داخل لوله‌ها با ترازو وزن شدند تا مقدار جذب رطوبت سیلیکاژل‌ها مشخص شود. از این مقدار می‌توان فهمید که فیلم‌ها تا چه حد در مقابل رطوبت با دوام هستند و پس از آن، عدد به دست آمده با کمک معادله ۴ سنجیده شد تا مقدار نفوذپذیری بخار آب آن مشخص شود.

$$WVP = \frac{\Delta m \times d}{\Delta t \times A \times \Delta p} \quad (4)$$

دستگاه کلونجر و در محل آزمایشگاه استخراج شد. روغن بکر زیتون از منابع محلی تهیه شد. برای اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی از دستگاه پتانسیوستات گالوانواستات اتو لب (PGSTAT302N) در سامانه سه الکترودی مرجع، کمکی و کار استفاده شد.

روش ساخت فیلم

برای ساخت فیلم پایه ابتدا ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر تا دمای 70°C گرم شد. سپس، ۰/۳ گرم کربوکسی‌متیل سلولز را به آب مقطر افزوده و پس از نیم‌ساعت، ۰/۵ گرم کلسیم آسکوربات به آن افزوده شد. پس از ۱۵ دقیقه، ۰/۱ گرم ساکاروز را به محلول افزوده و محلول به مدت ۳۰ دقیقه هم‌زده شد. سپس، محلول در یک ظرف مسطح ریخته و در داخل آون در دمای 45°C به مدت یک روز قرار داده شد تا خشک شود. پس از آن، فیلم در دمای اتاق و در رطوبت ۵۰ درصد از ظرف جدا شد. برای ساخت فیلم اصلاح‌شده، در انتها مقادیر بهینه‌شده از روغن زیتون و اسانس نعنا افزوده و محلول به مدت ۳۰ دقیقه هم‌زده شد. پس از گذشت این زمان، محلول مشابه فیلم پایه، در یک ظرف مسطح ریخته و خشک شد [۱۳].

آزمون‌های کنترل کیفیت

تعیین ضخامت فیلم‌ها؛ ضخامت فیلم‌ها با یک میکرومتر دستی به دست آمد و در مورد هر فیلم میانگین سه بار اندازه‌گیری گزارش شد.

تعیین درصد رطوبت فیلم؛ ابتدا یک برش مربعی به اندازه ۰/۲۵ گرم (w_1) از فیلم جدا و در داخل آون در دمای 110°C قرار داده شد. پس از ۱۰ دقیقه نمونه از آون خارج و وزن شد. این کار تا جایی تکرار شد که وزن نمونه ثابت شود (w_2). این کار با سه بار تکرار برای سه نمونه دیگر هم، انجام شد. سپس با معادله ۱ درصد رطوبت فیلم به دست آمد [۱۴].

$$x = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \times 100 \quad (1)$$

در مقایسه با رطوبت فیلم پایه، حدود ۲۷ درصد کاهش یافته است. علت این کاهش درصد رطوبت، آب‌گریز شدن فیلم اصلاح‌شده با روغن زیتون و اسانس نعنا است [۱۶].

جدول ۱ میانگین درصد رطوبت سه نمونه از فیلم‌های پایه و اصلاح‌شده

میانگین درصد رطوبت	
فیلم پایه	فیلم اصلاح‌شده
۲۰٫۱±۱٫۲	۱۴٫۵±۰٫۸

درصد تورم

با توجه به معادله ۲ میانگین درصد تورم فیلم‌ها محاسبه شد. نتیجه‌های به‌دست آمده از میانگین سه آزمون مستقل برای فیلم پایه و فیلم اصلاح‌شده با اسانس نعنا و روغن زیتون در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به این جدول، میانگین درصد تورم فیلم حاوی روغن زیتون و اسانس نعنا در مقایسه با فیلم پایه، حدود ۳۱ درصد کاهش یافته است. علت این کاهش درصد تورم به‌دلیل آب‌گریز شدن فیلم اصلاح‌شده با روغن زیتون و اسانس نعنا است.

جدول ۲ میانگین درصد تورم سه نمونه از فیلم‌های پایه و اصلاح‌شده

میانگین درصد تورم	
فیلم پایه	فیلم اصلاح‌شده
۶۶۰٫۲±۵٫۷٪	۴۵۱٫۳±۴٫۵٪

درصد حلالیت

با توجه به معادله ۳ میانگین درصد حلالیت فیلم‌ها محاسبه شد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از میانگین سه آزمون مستقل برای فیلم پایه و فیلم اصلاح‌شده با اسانس نعنا و روغن زیتون در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به این جدول، میانگین درصد حلالیت فیلم حاوی روغن زیتون و اسانس نعنا در مقایسه با فیلم پایه، حدود ۳۰ درصد کاهش یافته است.

سال هفدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

که در آن $(\Delta m/\Delta t) = (g/s)$ افزایش وزن در واحد زمان، d ضخامت لایه که واحد آن m است، A سطح مقطع و Δp اختلاف فشار بخار آب میان دو طرف فیلم است که در دمای $100^\circ C$ برابر با $1753/55$ پاسکال است [۱۵].

نتیجه‌ها و بحث

در شکل ۱ تصویر فیلم اصلاح‌شده با روغن زیتون و اسانس نعنا نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شکل ظاهری فیلم نازک، شفاف و انعطاف‌پذیر است. ضخامت فیلم ۷۵ میکرومتر به‌دست آمد. اسانس نعنا به‌دلیل ویژگی پاداکسندگی و روغن زیتون به‌دلیل ویژگی‌های آب‌گریزی به فیلم‌ها افزوده شدند و ویژگی‌های فیلم‌ها را بهبود بخشیدند.



شکل ۱ فیلم نازک تهیه‌شده از کربوکسی‌متیل سلولز حاوی اسانس نعنا و روغن زیتون

درصد رطوبت

با توجه به معادله ۱ میانگین درصد رطوبت فیلم‌ها محاسبه شد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از میانگین سه آزمون مستقل برای فیلم پایه و فیلم اصلاح‌شده با اسانس نعنا و روغن زیتون در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به این جدول، میانگین درصد رطوبت فیلم حاوی روغن زیتون و اسانس نعنا

نشریه پژوهش‌های کاربردی در شیمی (JARC)

زیتون و اسانس نعنا در مقایسه با فیلم پایه، حدود ۳۹ درصد کاهش یافته است. علت این کاهش، آب‌گریز شدن فیلم اصلاح‌شده با روغن زیتون و اسانس نعنا است.

این کاهش، تشکیل پیوندهای عرضی بین ترکیب‌های موجود در روغن زیتون و اسانس نعنا با بسپار پایه و نیز آب‌گریز شدن فیلم اصلاح‌شده است [۱۷].

جدول ۴ میانگین درصد نفوذ پذیری بخار آب سه نمونه از فیلم‌های پایه و اصلاح‌شده

میانگین درصد نفوذ پذیری بخار آب	
فیلم پایه	فیلم اصلاح شده
۵,۸۸ × ۱۰ ^{-۱۰}	۳,۵۹ × ۱۰ ^{-۱۰}

جدول ۳ میانگین درصد حلالیت سه نمونه از فیلم‌های پایه و اصلاح‌شده

میانگین درصد حلالیت	
فیلم پایه	فیلم اصلاح شده
۵۶ ± ۴ %	۳۹ ± ۳ %

نتیجه‌های به‌دست آمده در این پژوهش با مقادیر گزارش‌شده در مورد فیلم‌های مشابه که به تازگی منتشر شده‌اند مقایسه و در جدول ۵ آورده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر به‌دست‌آمده در این کار قابل مقایسه با مقادیر گزارش‌شده است.

درصد نفوذپذیری بخار آب

با توجه به معادله ۴ میانگین درصد نفوذپذیری بخار آب فیلم‌ها محاسبه شد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از میانگین سه آزمون مستقل برای فیلم پایه و فیلم اصلاح‌شده با اسانس نعنا و روغن زیتون در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به این جدول، میانگین درصد نفوذپذیری بخار آب فیلم حاوی روغن

جدول ۵ مقایسه نتیجه‌های این پژوهش با مقادیر گزارش‌شده در مراجع

مرجع	ضخامت (میکرومتر)	حلالیت	رطوبت	WVP***	EB**	TS*	فرمول‌بندی
این پژوهش	۷۰/۰	٪ ۳۹/۰	٪ ۱۴/۵	۳/۶ × ۱۰ ^{-۱۰}	٪ ۱۰/۶	۲/۷	کربوکسی‌متیل سلولز-اسانس نعنا - روغن زیتون
[۱۸]	۱۷/۰	٪ ۳۳/۰	٪ ۱۳/۰	۰/۳ × ۱۰ ^{-۱۰}	٪ ۷۱/۲۵	۱۱/۳	کربوکسی‌متیل سلولز-نانو کیتوسان ۱٪
[۱۹]	۶۷/۹	٪ ۲۳/۵	٪ ۲۰/۴	۲/۳ × ۱۰ ^{-۱۰}	٪ ۵/۹	۲۰/۰	کربوکسی‌متیل سلولز-لیگنین
[۲۰]	۱۳۵/۰	٪ ۸/۰	٪ ۱۱/۶	۱/۷ × ۱۰ ^{-۱۰}	٪ ۳/۰	۱۲/۰	کربوکسی‌متیل سلولز-پلی وینیل الکل-آلویه ورا

*** نفوذ پذیری نسبت به بخار آب (g/pa.s.m)

** کشیدگی در نقطه تسلیم

* استحکام کششی (مگا پاسکال)

تنش-کرنش به‌دست‌آمده از این آزمون برای فیلم‌های فاقد و حاوی کلسیم آسکوربات در شکل ۲ نمایش داده شده است. برای بررسی تکرارپذیری روش و به‌دست‌آوردن مقادیر میانگین، هر آزمون در مورد سه نمونه فیلم مجزا تهیه شده، انجام گرفت. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مورد فیلم‌های بدون کلسیم آسکوربات، میانگین استحکام کششی ۰/۷ مگاپاسکال و

کنترل کیفیت ویژگی مقاومت مکانیکی

برای بررسی ویژگی فیزیکی فیلم‌ها آزمون مقاومت کششی به‌کارگرفته شد. در این آزمون با کشیدن فیلم‌ها در دستگاه کششی، می‌توان واکنش آنان را در برابر نیروهای اعمالی تعیین کرد و هنگامی که ماده کشیده می‌شود می‌توان به استحکام کششی و افزایش طول آن ماده دست یافت. نمودارها

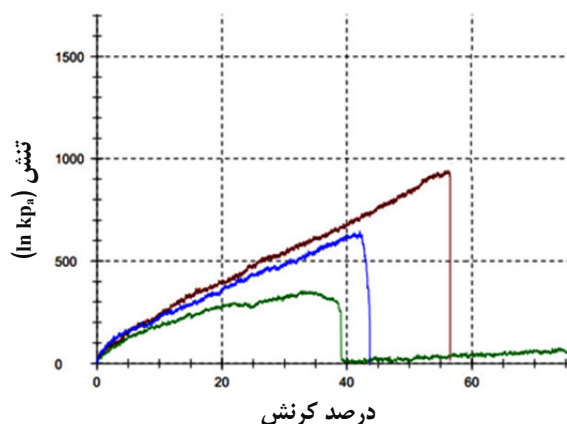
به طرز معنی‌داری نسبت به فیلم‌های پایه تغییر کرده‌اند. میانگین استحکام کششی ۲٫۷ مگاپاسکال به دست آمد که در مقایسه با فیلم‌های بدون کلسیم آسکوربات ۳٫۸ برابر بیشتر است. همچنین، میانگین درصد افزایش طول در محل پارگی ۱۰۶ درصد به دست آمد که نشان دهنده بهبود ۲٫۳ برابری کیفیت فیلم‌ها است. با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که این مقدار بسیار بالاتر از مقادیر گزارش شده در متون برای بسپارهای بر پایه کربوکسی‌متیل سلولز است. به احتمال دلیل این انعطاف بالا ایجاد پیوندهای بین شبکه‌ای ترکیب‌های موجود در اسانس نعنا و روغن زیتون با بسپار پایه است. همچنین، با توجه به نمودارها، همه نمونه‌ها به محض رسیدن به نقطه تسلیم بدون هیچ مقاومتی پاره شده‌اند که نشان دهنده ویژگی کشسانی فیلم‌ها است [۱۵].

اندازه‌گیری ویژگی پاداکسندگی فیلم

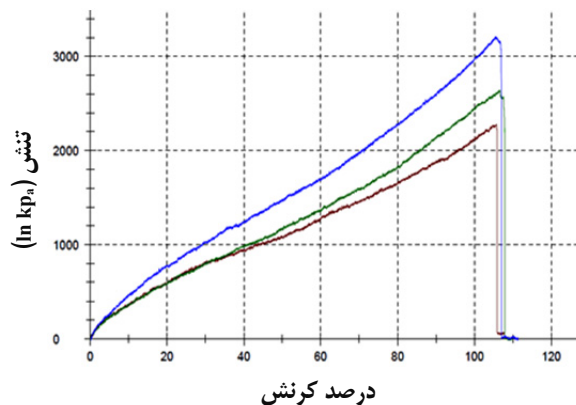
با توجه به مراجع، اسانس نعنا دارای ویژگی پاداکسندگی بالا است [۲۱]. بنابراین، انتظار می‌رود بتوان مقدار پاداکسندگی داخل اسانس نعنا را با روش الکتروشیمیایی اندازه‌گیری کرد. از این رو، رفتار الکتروشیمیایی یک محلول سولفوریک اسید که حاوی ۰٫۲ میلی‌لیتر اسانس نعنا بود، مطالعه شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود حوالی پتانسیل ۸۰۰ میلی‌ولت دارای قله آندی است. به نظر می‌رسد این قله برای ترکیب‌های پاداکسندگی موجود در داخل اسانس نعنا باشد. برای اطمینان از حضور پاداکسنده، برای محلول سولفوریک اسید بدون حضور اسانس نعنا در همان گستره، رفتار الکتروشیمیایی بررسی شد که هیچ قله‌ای در این گستره برای این محلول مشاهده نشد. در ادامه اثر افزایش غلظت اسانس و افزایش مقدار جریان بررسی شد. نتیجه‌های به دست آمده در شکل ۳-الف نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت جریان به طور چشمگیری افزایش یافته و مشاهده دو پیک آندی و کاتدی به معنای ویژگی برگشت‌پذیر بودن پاداکسنده‌های این اسانس است که این عامل موجب می‌شود از آلودگی‌های سطح الکترود جلوگیری شود. نمودار واسنجی که تغییرهای جریان را به نسبت

میانگین درصد افزایش طول در محل پارگی ۴۶٫۵ درصد به دست آمد که نشان دهنده کیفیت پایین فیلم‌ها است. برای بهبود کیفیت فیلم‌ها در مرحله ساخت، درصد بهینه‌شده از کلسیم آسکوربات افزوده شد.

(الف)



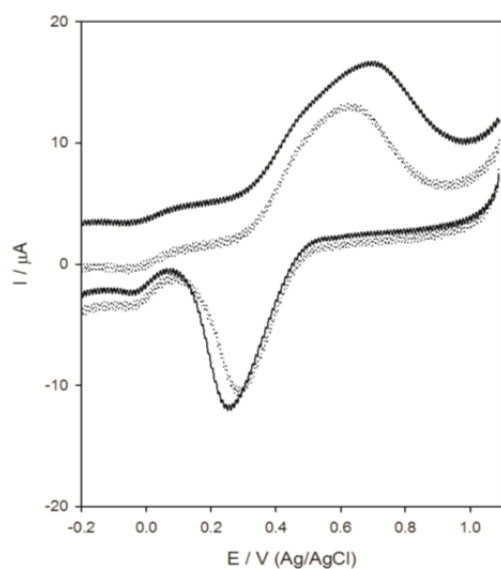
(ب)



شکل ۲ نمودار مربوط به آزمایش مقاومت کششی سه نمونه از فیلم پایه (الف) و فیلم اصلاح‌شده حاوی اسانس نعنا و روغن زیتون (ب)

با توجه به مقاله‌های ارائه‌شده، یون کلسیم به دلیل برقراری پیوندهای عرضی بین رنجیره‌های بسپار موجب افزایش استحکام فیلم می‌شود [۱۰]. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مورد فیلم‌های حاوی کلسیم آسکوربات نمودارهای تنش کرنش

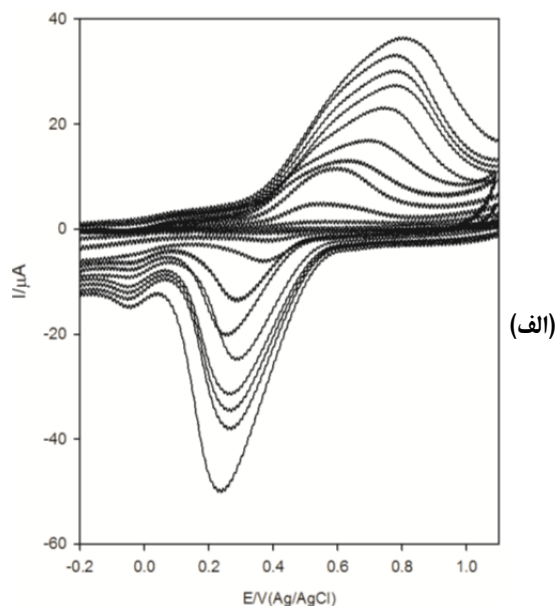
هدف از رسم نمودار واسنجی این بود که کارایی پاداکسنده در فیلم حاوی اسانس نعنا بررسی شود. برای این کار یک فیلم حاوی اسانس در ۲۵ میلی لیتر سولفوریک اسید حل و محلول رویی استخراج شد. نمودارهای ولت آمپرسنجی چرخه‌ای از محلول استخراج شده در شرایط مشابه با محلول های حاوی اسانس ثبت شد. مشاهده شد محلول استخراج شده از فیلم دارای قله‌ای در گستره پتانسیل ۰/۴۵ ولت است (شکل ۴ خط پر).



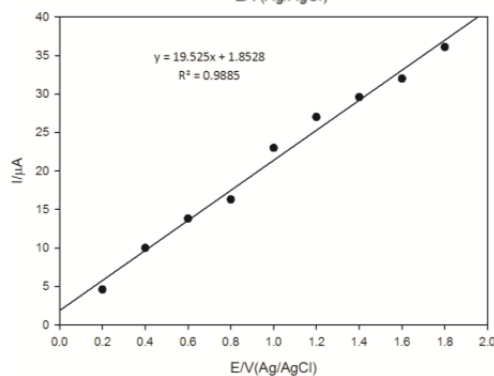
شکل ۴ نمودارهای ولت آمپرسنجی چرخه‌ای به دست آمده در سطح الکتروود مغز مداد در سرعت روبش ۵۰ میلی ولت بر ثانیه: در محلول استخراج شده با سولفوریک اسید ۰/۱ مولار از فیلم حاوی ۰/۴ میلی لیتر اسانس نعنا (خط پر) و در محلول سولفوریک اسید حاوی ۰/۴ میلی لیتر از اسانس نعنا (خط چین)

برای بررسی کارایی اسانس درون فیلم و مقایسه بهتر نمودارهای ولت آمپرسنجی چرخه‌ای به دست آمده در محلول سولفوریک اسید حاوی ۰/۴ میلی لیتر از اسانس نعنا، به صورت خط چین، در همین شکل نمایش داده شده است که هم خوانی بسیار خوبی با نمودار ولت آمپرسنجی مربوط به محلول استخراج

غلظت نشان می دهد برای این فیلم رسم شد که در شکل ۳-ب نمایش داده شده است. مشاهده می شود که جریان به صورت کامل خطی و منظم با افزایش غلظت افزایش می یابد.



(الف)



(ب)

شکل ۳ نمودارهای ولت آمپرسنجی چرخه‌ای به دست آمده در سطح الکتروود مغز مداد در سرعت روبش ۵۰ میلی ولت بر ثانیه در محلول سولفوریک اسید ۰/۱ مولار حاوی مقادیر متفاوت اسانس نعنا از ۰/۲ تا ۱/۸ میلی لیتر (الف) و نمودار واسنجی به دست آمده برای افزایش های متوالی اسانس نعنا (ب)

شد. نتیجه‌ها نشان داد که افزودن اسانس نعنا و روغن زیتون موجب کاهش ۲۷ درصد رطوبت، ۳۱ درصد تورم، ۳۰ درصد حلالیت و ۳۹ درصد نفوذپذیری بخار آب فیلم شد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از نمودارهای تنش-کرنش نشان داد که میانگین استحکام کششی فیلم فاقد و حاوی کلسیم آسکوربات به ترتیب ۰/۷ و ۲/۷ مگاپاسکال و افزایش طول در نقطه تسلیم به ترتیب ۴۶/۵ و ۱۰۶ درصد بود. با توجه به اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی، فیلم حاوی اسانس نعنا ویژگی پاداکسیدانی با پایداری و کارایی بالا داشت.

شده از فیلم دارد. پس از تصحیح جریان زمینه، با توجه به جریان به‌دست‌آمده و با استفاده از نمودار واسنجی، میزان پاداکسیدان موجود در فیلم معادل ۰/۴ میلی‌لیتر از اسانس نعنا به‌دست آمد. نکته جالب توجه این بود درست همین مقدار از اسانس در مرحله ساخت فیلم به‌کار رفته بود که نشان از پایداری و کارایی بسیار بالای اسانس درون فیلم داشت.

نتیجه‌گیری

فیلم‌های خوراکی بر پایه کربوکسی‌متیل سلولز، حامل اسانس نعنا، کلسیم آسکوربات، ساکاروز و روغن زیتون ساخته

مراجع

1. Panahirad S, Dadpour M, Peighambardoust SH, Soltanzadeh M, Gullón B, Alirezalu K, et al. Applications of carboxymethyl cellulose-and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021;110:663-73. doi: [org/10.1016/j.tifs.2021.02.025](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.025)
2. Wang W, Deng X, Liu D, Luo F, Cheng H, Cao T, et al. Broadband radar-absorbing performance of square-hole structure. *Advanced Composites and Hybrid Materials*. 2022;5:525-535. doi: [org/10.1007/s42114-021-00376-0](https://doi.org/10.1007/s42114-021-00376-0)
3. Tavassoli-Kafrani E, Shekarchizadeh H, Masoudpour-Behabadi M. Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*. 2016;137:360-74. doi: [org/10.1016/j.carbpol.2015.10.074](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.074)
4. Tesfay SZ, Magwaza LS, Mbili N, Mditshwa A. Carboxyl methylcellulose (CMC) containing moringa plant extracts as new postharvest organic edible coating for Avocado (*Persea americana* Mill.) fruit. *Scientia Horticulturae*. 2017;226:201-7. doi: [org/10.1016/j.scienta.2017.08.047](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.047)
5. Dashipour A, Khaksar R, Hosseini H, Shojaee-Aliabadi S, Ghanati K. Physical, antioxidant and antimicrobial characteristics of carboxymethyl cellulose edible film cooperated with clove essential oil. *Zahedan Journal of research in medical Sciences*. 2014;16(8):34-42.
6. Yildirim-Yalcin M, Tornuk F, Toker OS. Recent advances in the improvement of carboxymethyl cellulose-based edible films. *Trends in Food Science & Technology*. 2022;129:179-193. doi: [org/10.1016/j.tifs.2022.09.022](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.09.022)
7. Yaradoddi JS, Banapurmath NR, Ganachari SV, Soudagar MEM, Mubarak N, Hallad S, et al. Biodegradable carboxymethyl cellulose based material for sustainable packaging application. *Scientific Reports*. 2020;10(1):1-13. doi: [org/10.1038/s41598-020-78912-z](https://doi.org/10.1038/s41598-020-78912-z)
8. Sanyang ML, Sapuan SM, Jawaid M, Ishak MR, Sahari J. Effect of plasticizer type and concentration on physical properties of biodegradable films based on sugar palm (*Arenga pinnata*) starch for food packaging. *Journal of Food Science and Technology*. 2016;53:326-36. doi: [org/10.1007/s13197-015-2009-7](https://doi.org/10.1007/s13197-015-2009-7)
9. Morozkina S, Strekalovskaya U, Vanina A, Snetkov P, Krasichkov A, Polyakova V, et al. The Fabrication of alginate-carboxymethyl cellulose-based composites and drug release

- profiles. *Polymers*. 2022;14(17):3604. doi: **org/10.3390/polym14173604**
10. Chan L, Jin Y, Heng P. Cross-linking mechanisms of calcium and zinc in production of alginate microspheres. *International journal of pharmaceutics*. 2002;242(1-2):255-8. doi: **org/10.1016/S0378-5173(02)00169-2**
 11. Cheng L, Abd Karim A, Seow C. Characterisation of composite films made of konjac glucomannan (KGM), carboxymethyl cellulose (CMC) and lipid. *Food Chemistry*. 2008;107(1):411-8. doi: **org/10.1016/j.foodchem.2007.08.068**
 12. Basavegowda N, Baek K-H. Synergistic antioxidant and antibacterial advantages of essential oils for food packaging applications. *Biomolecules*. 2021;11(9):1267. doi: **org/10.3390/biom11091267**
 13. Muppalla SR, Kanatt SR, Chawla S, Sharma A. Carboxymethyl cellulose–polyvinyl alcohol films with clove oil for active packaging of ground chicken meat. *Food Packaging and Shelf Life*. 2014;2(2):51-8. doi: **org/10.1016/j.fpsl.2014.07.002**
 14. Nadeem H, Naseri M, Shanmugam K, Dehghani M, Browne C, Miri S, et al. An energy efficient production of high moisture barrier nanocellulose/carboxymethyl cellulose films via spray-deposition technique. *Carbohydrate Polymers*. 2020;250:116911. doi: **org/10.1016/j.carbpol.2020.116911**
 15. Cao L, Ge T, Meng F, Xu S, Li J, Wang L. An edible oil packaging film with improved barrier properties and heat sealability from cassia gum incorporating carboxylated cellulose nano crystal whisker. *Food Hydrocolloids*. 2020;98:105251. doi: **org/10.1016/j.foodhyd.2019.105251**
 16. Dashipour A, Razavilar V, Hosseini H, Shojaee-Aliabadi S, German JB, Ghanati K, et al. Antioxidant and antimicrobial carboxymethyl cellulose films containing *Zataria multiflora* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2015;72:606-13. doi: **org/10.1016/j.ijbiomac.2014.09.006**
 17. Noshirvani N, Ghanbarzadeh B, Gardrat C, Rezaei MR, Hashemi M, Le Coz C, et al. Cinnamon and ginger essential oils to improve antifungal, physical and mechanical properties of chitosan-carboxymethyl cellulose films. *Food Hydrocolloids*. 2017;70:36-45. doi: **org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.015**
 18. Jannatyha N, Shojaee-Aliabadi S, Moslehishad M, Moradi E. Comparing mechanical, barrier and antimicrobial properties of nanocellulose/CMC and nanochitosan/CMC composite films. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;164:2323-8. doi: **org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.249**
 19. Michelin M, Marques AM, Pastrana LM, Teixeira JA, Cerqueira MA. Carboxymethyl cellulose-based films: Effect of organosolv lignin incorporation on physicochemical and antioxidant properties. *Journal of Food Engineering*. 2020;285:110107. doi: **org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110107**
 20. Kanatt SR, Makwana SH. Development of active, water-resistant carboxymethyl cellulose-poly vinyl alcohol-Aloe vera packaging film. *Carbohydrate polymers*. 2020;227:115303. doi: **org/10.1016/j.carbpol.2019.115303**
 21. Park CH, Yeo HJ, Baskar TB, Park YE, Park JS, Lee SY, et al. In vitro antioxidant and antimicrobial properties of flower, leaf, and stem extracts of Korean mint. *Antioxidants*. 2019;8(3):75. doi: **org/10.3390/antiox8030075**

Preparation and investigation of antioxidant behavior of edible films based on carboxymethyl cellulose containing mint essential oil and olive oil

S. Pourbeyram^{1,*}, M. Koshesh²

1. Associate Professor of Department of Chemistry, Payame Noor University, Tehran, Iran.
2. M.Sc. Student of Department of Chemistry, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Abstract: The production of edible films based on the carboxymethyl cellulose as a biodegradable polymer containing the essential oil extracted from the mint plant as a source of antioxidants, was performed in this work. To improve the quality of these films, materials such as calcium ascorbate as a binder, sucrose as an emulsifier, and olive oil to make the films hydrophobic were used. The results of the quality control tests showed that the addition of peppermint essential oil and olive oil significantly improved the quality of the base films. So that 27% of humidity, 31% of swelling, 30% of solubility, and 39% of water vapor permeability were reduced in the case of the modified films. The results of the stress-strain diagrams showed that by adding calcium ascorbate to the composition of the films, the average tensile strength increased by 3.8 times and the elongation at break point increased by 2.3 times. According to the electrochemical measurements, the films containing peppermint essential oil had antioxidant properties and the stability and efficiency of the essential oil inside the film was high.

Keywords: Edible film, Electrochemical measurement, Antioxidant, Mint.