Food Hygiene, Vol. 13, No. 52, Winter 2024

"Research article: 1428"

Agar-carboxymethyl cellulose–based antimicrobial active film containing potassium sorbate

Khayyati, S.[1], Amidi-Fazli, F.[2], Pouzeshimiyb, B.[3]

1. M.Sc. graduate of Food Science and Technology, Marand Branch, Islamic Azad University, Marand, Iran
2. Assistant professor, Department of Food Science and Technology, Sofian Branch, Islamic Azad University, Sofian, Iran
3. Assistant professor, Department of f Plant Pathology, Marand Branch, Islamic Azad University, Marand, Iran
*Corresponding author: amidi_f@yahoo.com
(Received: 2023/12/6 Accepted: 2024/2/13)

Abstract

Biodegradable edible biopolymers derived from renewable agricultural sources offer a promising alternative to synthetic plastics. This study focused on preparing agar-carboxymethyl cellulose films containing glycerol (20-60%) and potassium sorbate (0-20%). Film properties such as thickness, water vapor permeability, water solubility, moisture absorption, water drop contact angle, and color characteristics were evaluated. The films were also tested for antibacterial and anti-mold properties against three bacterial species and two mold species. Results indicated that the composition of glycerol and potassium sorbate significantly influenced film solubility and moisture absorption ($p< 0.05$). The films exhibited high water drop contact angles, indicating low hydrophilicity. Potassium sorbate and glycerol notably affected the color parameters (L, a, b, and yellow index) of the films. Antimicrobial tests revealed effective antibacterial and antifungal properties, with the level of potassium sorbate showing a significant impact ($p < 0.05$) on these properties. In conclusion, utilizing cost-effective biopolymers and incorporating antimicrobial agents like potassium sorbate not only supports environmental sustainability but also enhances film properties and inhibits microbial growth.

Conflict of interest: None declared

Keywords: Agar, Carboxymethyl cellulose, Potassium sorbate, Antimicrobial film

«مقاله پژوهشی: ۱۴۲۸»

فیلم فعال ضدمیکروب بر پایه آگار و کربوکسی متیل سلولز حاوی سوربات پتاسیم

فیلم ضدمیکروب آگار-کربوکسی متیل سلولز حاوی سوربات پتاسیم

سمیرا خیاطی[۱]، فرید عمیدی‌فضلی[۲*]، بهنام پوزشی‌میاب[۳]

۱-دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد مرند، دانشگاه آزاد اسلامی، مرند، ایران
۲-استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع‌غذایی، واحد صوفیان، دانشگاه آزاد اسلامی، صوفیان، ایران
۳-استادیار گروه بیماری‌شناسی‌گیاهی، واحد مرند، دانشگاه آزاد اسلامی، مرند، ایران
*نویسنده مسئول: amidi_f@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۹/۱۵ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴)

چکیده

بیوپلیمرهای خوراکی با زیست تخریب پذیری بالا که از منابع قابل تجدید کشاورزی حاصل می‌شوند جایگزینی مناسب برای پلاستیک‌های سنتزی به شمار می‌روند. در این پژوهش فیلم‌های آگار- کربوکسی متیل سلولز حاوی گلیسرول (۶۰-۲۰ درصد) و نگهدارنده سوربات پتاسیم (۲۰-۰ درصد) تهیه گردید. خاصیت ضدباکتریایی و ضدکپکی فیلم‌های تولید شده علیه چهار جنس باکتریایی کلبسیلا، سودوموناس، *اشریشیاکلی* و *استافیلوکوکوس اورئوس* و دو جنس کپک *آسپرژیلوس نایجر* و *پنی سیلیوم دیجیتاتوم* انجام یافت. به منظور بررسی ویژگی‌های فیلم‌های تولید شده، آزمون‌های ضخامت، نفوذ پذیری، حلالیت درآب، جذب رطوبت، زاویه تماس و رنگ سنجی انجام گرفت. خواص ضدمیکروبی فیلم‌های تولید شده علیه باکتری‌ها مشاهده شد همچنین فیلم‌ها دارای خواص ضدکپکی بالایی بوده و میزان سوربات پتاسیم به کار برده شده اثر معنی دار (p<۰/۰۵) بر کاهش آن‌ها داشت. نتایج نشان داد ترکیبات به کار برده شده اثر معنی دار (p<۰/۰۵) بر حلالیت و جذب رطوبت فیلم‌ها داشت. همچنین فیلم‌های تولید شده دارای زاویه تماس بالا و درنتیجه خاصیت آبدوستی پایین بودند. طبق بررسی ویژگی‌های رنگی مشخص شد سوربات پتاسیم و گلیسرول اثر معنی داری بر پارامترهای رنگی L، a، b و اندیس زردی داشت. با به کارگیری بیوپلیمرهای مفید و ارزان قیمت و افزودن ترکیبات ضدمیکروبی نظیر سوربات پتاسیم علاوه بر حفاظت از محیط زیست می‌توان فیلمی با ویژگی‌های ضدمیکروبی تولید نمود و از رشد میکروارگانیسم‌ها جلوگیری به عمل آورد.

واژهای کلیدی: آگار، کربوکسی متیل سلولز، سوربات پتاسیم، فیلم ضدمیکروب

مقدمه

با افزایش درخواست مصرف کننده‌ها برای غذاهای با کیفیت و سالم، به خاطر افزایش شیوع بیماری‌های قابل انتقال از راه مواد غذایی که توسط میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شوند نگرانی در خصوص سلامتی مواد غذایی افزایش یافته است. مصرف کننده‌ها به ویژه در مورد استفاده از ترکیبات ضدمیکروبی شیمیایی و سنتزی و نگهدارنده‌هایی که از رشد میکروارگانیسم‌ها جلوگیری می‌کنند نگران هستند (Tajkarimi *et al.*, 2010). درخواست مصرف کننده‌ها برای حفظ مواد غذایی با کیفیت و مغذی منجر به تولید مواد غذایی سالم شده است و نیاز به استفاده از روش‌های جایگزین حفظ مواد غذایی به‌منظور غیرفعال ساختن آنزیم‌ها و میکروارگانیسم‌های بیماریزا در آنها افزایش یافته است. فساد مواد غذایی به اثر میکروارگانیسم‌ها و فعالیت‌های خارج سلولی آنزیم‌های آنها بر می‌گردد (Calo *et al.*, 2015).

بسته‌بندی‌های زیستی حاصل از بیوپلیمرهای خالص سرعت زیست تخریب پذیری بالاتری نسبت به فیلم‌های دیگر دارا می‌باشند. ولی کیفیت مکانیکی و نفوذپذیری آنها به نسبت پایین‌تر است. بسته بندی‌های زیست تخریب پذیر را بر اساس هضم پذیری می‌توان به دو دسته خوراکی و غیر خوراکی تقسیم کرد (Shit and Shah, 2014). استفاده از فیلم‌های خوراکی یکی از راهکارهای مناسب برای افزایش ماندگاری محصولات و بسته بندی مواد غذایی است. بطورکلی فیلم‌های خوراکی دارای ویژگی‌های کاربردی از جمله محافظت مواد غذایی در برابر تغییرات محیطی، انتقال جرم و آسیب‌های فیزیکی هستند و برای بسته بندی مجزای بخش‌های کوچکی از مواد غذایی، به عنوان انتقال دهنده مواد ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدان می‌توانند بکار روند. فیلم‌های خوراکی از نظر قیمت نسبتاً ارزان و قابل تهیه از منابع تجدیدشونده هستند (Nguyen Van Long *et al.*, 2016; Rouf and Kokini, 2018).

مهم ترین افزودنی‌های ضدمیکروبی متعلق به ترکیبات کلریدها، نیتریت ها، سولفیت‌ها و اسیدهای آلی چون لاکتیک، اسکوربیک و سوربیک می‌باشند (Ghaly *et al.*, 2011). امروزه استفاده از افزودنی‌های سنتزی مانند نیتریت به دلیل اثرات سمی و سرطانزائی برای انسان مورد سوال قرار گرفته‌اند بطوری که برخی از کشورها استفاده از آن را محدود نموده اند. بنابراین روش‌های نگهداری طبیعی می‌تواند یک روش سودمند در حل مسائل مربوط به فساد موادغذایی باشد (Gialamas *et al.*, 2010).

فیلم خوراکی لزوماً یک شبکه پلیمری خشک از ساختار ژل سه بعدی است. در واقع یک ماتریکس پلیمری فضایی از همه مواد تشکیل دهنده مانند بیوپلیمر، نرم کننده و حلال است. دو روش اصلی تولید فیلم های بیوپلیمری عبارت است از روش خشک و مرطوب (Campos *et al.*, 2011). به طور کلی جهت به حداقل رساندن تأثیر فیلم یا پوشش در مزه غذا، استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی بدون مزه مناسب‌تر است. از آنجایی که سه ترکیب عمده فیلم‌های ضدمیکروبی و قارچی بیوپلیمرهای تشکیل‌دهنده فیلم، نرم‌کننده‌ها و مواد ضدمیکروبی و قارچی می‌باشند، هر سه این ترکیبات بایستی بدون مزه باشند (Aloui *et al.*, 2015; Robledo *et al.*, 2018).

کربوکسی متیل سلولز قابل تعلیق در آب است و تحت شرایط معمول غیر قابل تخمیر می‌باشد. معمولاً از آن به جای نشاسته و مواد طبیعی محلول در آب که نسبتاً گران قیمت هستند استفاده می‌شود (Benchabane and Bekkour, 2008). کربوکسی متیل سلولز مولکولی خطی، یونی، سنتتیک، بی بو و بی مزه است و بسته به درجه خلوص، رنگ آن از سفید تا کرم رنگ قابل تغییر می‌باشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مشتقات سلولز متاثر از نوع و ماهیت ترکیب جانشین شده، درجه استخلاف، میزان پخش شدگی این ترکیب در کل مولکول و وزن مولکولی است. (Noshirvani *et al.*, 2017).

پلی ساکارید آگار از نظر شیمیایی استر سولفوریک گالاکتان می‌باشد و از برخی اعضاء خانواده جلبک های قرمز (عصاره خشک جلبک‌های *Gelidium*) به شکل قطعات باریک نازک شفاف یا گرد سفید خاکستری رنگ بی بو و بی مزه استخراج می‌شود. این پلی ساکارید در آب سرد نامحلول ولی در آب جوش محلول می‌باشد. آگار شامل دو بخش بنام آگارز (تقریباً ۷۰ ٪) و آگاروپکتین می‌باشد. خاصیت ژلاتینی آگار به ترکیب آگارز نسبت داده می‌شود در حالی که ترکیب آگاروپکتین خاصیت چسبندگی ایجاد می‌کند. از لحاظ شیمیایی علاوه بر آگارز و آگاروپکتین، آگار از اسیدهای آمینه (آگارین، اسید گلوتامیک و ترئونین) و از قند (گالاکتوز و گلوکونیک اسید وگریلوز) تشکیل شده است (Lee *et al.*, 2017).

سوربات پتاسیم از جمله موادی است که در طبقه عوامل نگهدارنده قرار دارند و سبب جلوگیری از فساد میکروبی در مواد غذایی و افزایش عمر انبارداری می‌شوند. سوربات پتاسیم یک نگهدارنده ضدمیکروبی است که بصورت گسترده در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و از طرف FDA به عنوان یک ماده GRAS شناخته شده است. این ماده اکثراً در غلظت های ۰/۰۵ تا ۰/۳ درصد وزنی در فرآورده های غذایی متنوعی مانند فرآورده های لبنی، گوشت و ماهی، نانوایی و ترشی‌ها به عنوان یک ماده ضدمخمر، کپک و باکتری بکار می‌رود. اگرچه در pH های پایین موثرتر است ولی تا pH ۶/۵ فعالیت ضدمیکروبی دارد (Vesal *et al.*, 2013).

فیلم نانوکامپوزیت آگار با افزودن مقادیر مختلف نانورس (۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰) به روش محلول تولید شده است. نفوذپذیری به بخار آب، زاویه تماس و میزان حلالیت در آب فیلم‌ها با افزایش مقدار نانورس کاهش یافتند در حالی که مقاومت کششی تا تیمار ۱۰٪ افزایش و پس از آن کاهش یافت. همچنین مشاهده شد که با افزایش غلظت نانورس زبری سطح فیلم افزایش می‌یابد (Rhim, 2011). *لاکتوباسیلوس پلانتارم* را به طور مستقیم به چهار محلول متیل سلولز، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، پروتئین نخود، کازئینات سدیم اضافه شد و تکثیر این باکتری در نفوذپذیری به بخار آب، خصوصیات مکانیکی فیلم‌ها و نیز توانایی زنده مانی *لاکتوباسیلوس پلانتارم* و خصوصیت ضدلیستریایی فیلم‌های بیواکتیو بررسی گردید. (Sánchez-González *et al.*, 2013). هدف از این مطالعه، تولید فیلم زیستی با ویژگی ضدمیکروبی بر پایه صمغ آگار و کربوکسی متیل سلولز حاوی سوربات پتاسیم و بررسی ویژگی‌های فیزیکی و خاصیت ضدباکتریایی و ضدقارچی فیلم‌های آگار و کربوکسی متیل سلولز تهیه شده است.

مواد و روش‌ها

- روش تولید فیلم

۰/۷۵ گرم آگار (Biolife, Italy) و ۰/۷۵ گرم کربوکسی متیل سلولز (کاراگام، ایران) پس از توزین با آب مقطر به حجم ۱۵۰ میلی لیتر رسانده شد و حین هم زدن روی شیکر تا بدست آمدن محلولی یکنواخت هم زده شد بعد از حل شدن آگار و کربوکسی متیل سلولز در آب، گلیسرول (دکتر مجلل، ایران) (۶۰-۲۰ درصد) و نگهدارنده سوربات پتاسیم (Foodex, China) (۲۰-۰ درصد) اضافه گردید. فرایند ژلاتینیزاسیون سوسپانسیون به مدت ۶۰ دقیقه و در دمای ۹۰ درجه سلسیوس در بن ماری انجام پذیرفت در این مدت جهت بهتر حل شدن و ژلاتینه شدن هر ۱۰دقیقه محلول مورد نظر هم زده شد به منظور حصول اطمینان از اختلاط کامل مواد مورد استفاده در تهیه فیلم محلول ژلاتینه شده به دست آمده به مدت ۲۰ دقیقه تحت همزنی مداوم قرار گرفت به منظور جلوگیری از ته نشینی مواد حین اختلاط دما در ۷۰ درجه سلسیوس تنظیم شده بود. ۲۵ میلی لیتر از سوسپانسیون آماده شده داخل پلیت‌های پلی استایرن شماره ۱۰ ریخته شد و در مرحله نهایی برای به دست آوردن فیلم عملیات خشک کردن در انکوباتور (Memmert, Germany) با دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت صورت گرفت.

- ضخامت

ضخامت فیلم های حاصل با استفاده از کولیس (Mitutoyo, Japan) با دقت ۰/۰۱ اندازه گرفته شد. بدین منظور سنجش ضخامت در ۵ قسمت مختلف بیوفیلم‌ها صورت پذیرفت و میانگین ضخامت های اندازه گیری شده به عنوان ضخامت بیوکامپوزیت گزارش شده است.

- شار بخار آب و نفوذ پذیری(WVTR and WVP)

میزان شار بخار آب از میان فیلم و مقادیر نفوذ پذیری بخار آب برای بیوکامپوزیت های حاصل تعیین گردیدند. برای محاسبه ویژگی های ذکر شده طبق روش ASTM E96-95 عمل شد (ASTM, 1995). بدین منظور داخل ویال ۳ گرم سولفات کلسیم (Merck, Germany) ریخته شده در این حالت رطوبت نسبی ایجاد شده داخل ویال صفر درصد خواهد بود پس از قرار دادن قطعه فیلم در سر بطری که به اندازه آن برش خورده بود درب بطری محکم بسته شد و بطری‌های داخل محفظه حاوی محلول اشباع سولفات پتاسیم (Merck, Germany) قرار گرفت رطوبت نسبی ایجاد شده داخل محفظه ۹۷٪ خواهد بود. جهت ایجاد امکان انتقال بخار آب از میان بیوفیلم منفذی به قطر ۵ میلیمتر بر روی درب بطری ایجاد شده بود. بطری‌ها قبل از قرار گرفتن داخل محفظه و هر ۲۴ ساعت به مدت ۴ روز توزین شدند. با رسم نمودار افزایش وزن بطری در مقابل زمان برای هر نمونه و به دست آوردن شیب خط حاصل شار بخار آب و نفوذپذیری نسبت به بخار آب از معادلات زیر تعیین شد:

$$WVTR = \frac{\Delta w}{tA} \quad (۱)$$

$$WVP = \frac{WVTR \times X}{P(R_1 - R_2)} \quad (۲)$$

WVTR: آهنگ انتقال بخار آب: (g/sm^2)، WVP: نفوذپذیری نسبت به بخار آب (gm/m^2sPa)، Δw: افزایش وزن (g)، t: زمان (s)، A: مساحت فیلم در

معرض انتقال بخار آب (m^2)، X: ضخامت فیلم (m)، P: فشار بخار آب (Pa)، R_1: رطوبت نسبی داخل دسیکاتور (٪)، R_2: رطوبت نسبی داخل ویال (٪)

- حلالیت درآب

حلالیت درآب عبارت است ازدرصد مادۀ خشک فیلم که پس از ۲۴ ساعت غوطه وری درآب مقطر، به حالت محلول درمی آید. برای اندازه گیری میزان حلالیت در آب ماده خشک اولیه نمونه های فیلم باابعاد ۲۰×۲۰mm در آون (Memmert, Germany) ۱۰۵ درجه سلسیوس تعیین گردید. در مرحله بعد نمونه‌های بیوفیلم داخل ظروف درب‌دار حاوی ۵۰ml آب مقطر در دمای ۲۵ °C به مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور گردید و پس از سپری شدن زمان مقدار باقیمانده فیلم از آب خارج شده و ماده خشک آن تعیین شد مقدار حلالیت مربوط به هر نمونه از معادله زیر به دست آورده شد (Romero-Bastida *et al*., 2005):

$$WS = \frac{DM_1 - DM_2}{DM_1} \times 100 \qquad (۳)$$

WS: حلالیت در آب (٪)، Dm_1: ماده خشک اولیه فیلم (٪)، Dm_2: ماده خشک فیلم پس از غوطه وری در آب (٪)

- جذب رطوبت

برای اندازه گیری میزان جذب رطوبت نمونه‌های بیوکامپوزیت قطعاتی از فیلم باابعاد ۲۰×۲۰mm درآون ۵۰ °C به مدت۲۴ساعت قرارداده شد پس از توزین، نمونه‌ها در محفظه حاوی محلول اشباع سولفات پتاسیم (Merck, Germany) (RH=۹۷٪) در دمای ۲۵ °C قرارد داده شدند و پس از گذشت ۴ روز مجدد توزین شدند. میزان جذب رطوبت از رابطه زیرمحاسبه شد (Anglès and Dufresne, 2001):

$$MA = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \qquad (۴)$$

MA: جذب رطوبت (٪)، W_1: وزن اولیه اولیه فیلم (g)، W_2: وزن نهایی فیلم (g)

- زاویه تماس

از آنجائی که فیلم‌های کربوهیدراتی ماهیت آبدوستی دارند، اندازه‌گیری زاویه تماس آب، شاخص خوبی برای تعیین میزان آبدوست بودن آنها محسوب می‌شود. برای تعیین زاویه تماس، از روش قطرۀ سیسیل که یک روش رایج در تعیین ویژگی مرطوب شوندگی سطوح جامد می‌باشد استفاده شد. با استفاده از یک سرنگ، یک قطره آب مقطر بر روی سطح نمونه‌ها قرار داده شد. توسط دوربین Canon sx500 با وضوح ۱۶ مگاپیکسل از تماس قطره با سطح فیلم پس از گذشت ۵ ثانیه عکس گرفته شد. برای محاسبۀ زاویۀ تماس آب با سطح فیلم از نرم افزار Image J 1.44p استفاده شد. محاسبۀ زاویه بین خط مماس بر قطره در نقطۀ تماس و خط رسم شده در راستای سطح فیلم، زاویه تماس را نشان می‌دهد.

- رنگ سنجی

رنگ و شفافیت نمونه‌ها داخل جعبه سیاه مورد ارزیابی قرار گرفت. تمام نمونه‌ها روی یک صفحه سفید استاندارد (L=۸۷/۹۹، a=-۱/۶۴، b=-۹/۰۹) قرار گرفتند و از سطح نمونه‌ها از فاصله ۱۰ سانتی متری توسط دوربین دیجیتال تصویر تهیه شد. با استفاده از نرم افزار Image J 1.43u پارامترهای رنگی نمونه‌ها در سیستم RGB استخراج گردید. سپس RGB محاسبه شده به پارامترهای هانتر بر حسب روشنایی(L)، قرمزی-سبز (a) و زردی-آبی (b) تبدیل شد و میزان رنگ بر حسب پارامترهای هانتر بیان شد. اختلاف رنگ

نمونه ها(ΔE) با فرمول پیشنهادی (Gennadios *et al.*, 1996) و انـدیس زردی(YI) و انـدیس سـفیدی(WI) نمونـه‌ها بـا فرمـول پیشـنهادی (Boun and Huxsoll, 1991) محاسبه گردید:

$$\Delta E = [(L_{standard}-L_{sample})^2+(a_{standard}-a_{sample})^2+(b_{standard}-b_{sample})^2]^{0.5} \quad (۵)$$

$$YI=(142/86b)/L \quad (۶)$$

$$WI=100-[(100-L)^2+a^2+b^2]^{0.5} \quad (۷)$$

- اندازه‌گیری خواص ضدکپکی

بـرای تعیـین فعالیـت ضـدکپکی، دو کپـک *آسپرژیلوس نایجر* و *پنـی‌سـیلیوم دیجیتـاتوم* در محـیط کشـت‌های آمـاده پوتیتودکسـتروزآگار (Merck, Germany) کشت داده شدند. پس از سـه روز از رشـد قارچ‌ها فعالیت ضدکپکی مورد بررسی قرار گرفت. برای کشـت قـارچ ۱۰۰ میکرولیتـر از سوسپانسـیون حـاوی 10^5 CFU/ml، روی محیط کشـت پوتیتودکسـتروزآگار کشت سطحی داده شد. سپس فیلم‌هایی به قطر ۱سـانتی متر توسط آنس استریل به مرکز محیط کشت انتقال داده شد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۳۰درجـه سلسـیوس گرمخانه گذاری شد. در نهایـت قطـر هالـه عـدم رشـد قارچ اندازه‌گیری گردید.

- اندازه‌گیری خواص ضدباکتری

بررسـی فعالیـت ضـدباکتریایی فیلم‌هـا در مقابـل جدایـه‌های *اسـتافیلوکوکوس اورئـوس*، اشریشـیاکلی، سودوموناس و کلبسیا انجام گرفت. برای کشت باکتری، از سوسپانسیون نیم مک فارلند توسـط سـوآپ برداشـته شـد و روی محـیط کشـت نوترینـت آگـار (Merck, Germany) کشت خطی داده شد. سپس فـیلم‌هـایی بـه قطر ۱ سانتی متر توسط آنس اسـتریل بـه مرکـز محـیط کشت انتقال داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرمخانه گذاری شـد. سـر انجـام قطـر هاله عدم رشد باکتری اندازه‌گیری گردید.

- روش‌ها و ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش ۱۲ تیمار مختلف بر اسـاس طـرح مرکب مرکزی انتخاب شده‌اند و هر یک حـاوی غلظـت مشخصی از متغییرهای پیشنهادی (گلیسرول و سـوربات پتاسیم) هستند تولید شد (جـدول ۱). درصـدهای ذکـر شده برای گلیسرول و سوربات پتاسـیم نسـبت بـه وزن بیوپلیمرهای استفاده شده در تولید فیلم محاسبه شده‌اند. تعداد تکرار در مورد تیمارها ۴ تکرار می‌باشد. در مـورد تجزیه و تحلیـل داده‌هـا از آزمـون تجزیـه واریـانس بـا اسـتفاده از مـدل‌های مناسـب اسـتفاده شـده و مقایسـه میانگین با استفاده از آزمون توکی انجـام شـد. داده‌هـای حاصـل از انـدازه‌گیری صـفات مـورد مطالعـه در کـل آزمایش در جداول و نمودارهـا نشـان داده شـد اسـت. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزارهای *Minitab 18* و *EXCEL* استفاده گردید.

جدول (۱)- درصد گلیسرول و سوربات پتاسیم استفاده شده بر مبنای وزن بیوپلیمر در تهیه تیمارهای مختلف

تیمار	سوربات پتاسیم (٪)	گلیسرول(٪)	تیمار	سوربات پتاسیم (٪)	گلیسرول(٪)
۱	۳	۲۶	۷	۱۰	۲۰
۲	۱۷	۲۶	۸	۱۰	۶۰
۳	۳	۵۴	۹	۱۰	۴۰
۴	۱۷	۵۴	۱۰	۱۰	۴۰
۵	۰	۴۰	۱۱	۱۰	۴۰
۶	۲۰	۴۰	۱۲	۱۰	۴۰

یافته‌ها

- ضخامت

ضخامت فیلم‌های تولید شده در پنج قسمت مختلف فیلم به طور تصادفی اندازه گرفته شد. میانگین سنجش‌های انجام یافته در جدول ۲ نشان داده شده است. ضخامت کامپوزیت‌های تولید شده در دامنه ۵۲ تا ۹۸ میکرومتر می‌باشد. بنابراین فیلم‌های به دست آمده نازک می‌باشند. هیچ کدام از متغیرهای به کار برده شده در تهیه فیلم‌های کامپوزیتی تاثیر معنی دار بر ویژگی ضخامت فیلم‌ها نداشتند.

- نفوذپذیری نسبت به بخار آب

نتایج آنالیز واریانس بیان می‌کند که میزان نگهدارنده و گلیسرول تاثیر معنی داری بر مقدار نفوذپذیری نداشته است. مقادیر نفوذپذیری نسبت به بخار آب در محدوده gm/m^2Pas $۰/۸۹\times۱۰^{-۱۱}$ تا $۸/۳۱\times۱۰^{-۱۱}$ به دست آمد (جدول ۲). کمترین میزان نفوذپذیری به بخار آب در غلظت‌های بیش از ۵۰ درصد گلیسرول و ۲۰-۱۵ درصد سوربات پتاسیم مشاهده شد.

- حلالیت

کامپوزیت‌های تولید شده به عنوان لایه محافظ مواد غذایی استفاده می‌شوند از اینرو میزان حلالیت در آب کامپوزیت‌های تولید شده یکی از ویژگی‌های مهم این نوع از فیلم‌ها می‌باشد تا بتواند نقش محافظتی خود را به خوبی ایفا نماید. مقادیر حلالیت در آب بین ۲۵/۷۶ تا ۵۳/۴۰ درصد به دست آمد و توان دوم سوربات پتاسیم و توان دوم گلیسرول بر آن اثر معنی دار داشتند (جدول ۳). در غلظت‌های بالا حدود ۱۷/۵ تا ۲۰ درصد سوربات پتاسیم و در غلظت‌های پایین گلیسرول (زیر ۳۰ درصد) مقدار حلالیت در آب زیاد و در حدود ۸۰-۷۰ درصد بود. بدین ترتیب با به کارگیری غلظت‌های مشخصی از گلیسرول و سوربات پتاسیم می‌توان میزان حلالیت را تغییر داد.

جدول (۲)- مقادیر به دست آمده برای ضخامت و نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌های تولید شده

نفوذپذیری نسبت به بخار آب ($gm/m^2Pas \times 10^{-11}$)	ضخامت (µm)	گلیسرول (٪)	سوربات پتاسیم (٪)	نفوذپذیری نسبت به بخار آب ($gm/m^2Pas \times 10^{-11}$)	ضخامت (µm)	گلیسرول (٪)	سوربات پتاسیم (٪)
۲/۰۰	۵۶	۲۰	۱۰	۱/۸۱	۵۸	۲۶	۳
۱/۷۵	۹۸	۶۰	۱۰	۶/۹۷	۷۸	۲۶	۱۷
۰/۸۹	۵۲	۴۰	۱۰	۱/۵۲	۶۸	۵۴	۳
۱/۶۳	۵۲	۴۰	۱۰	۱/۵۲	۶۸	۵۴	۱۷
۸/۳۱	۶۲	۴۰	۱۰	۱/۳۰	۵۸	۴۰	۰
۸/۳۱	۶۲	۴۰	۱۰	۱/۸۱	۵۸	۴۰	۲۰

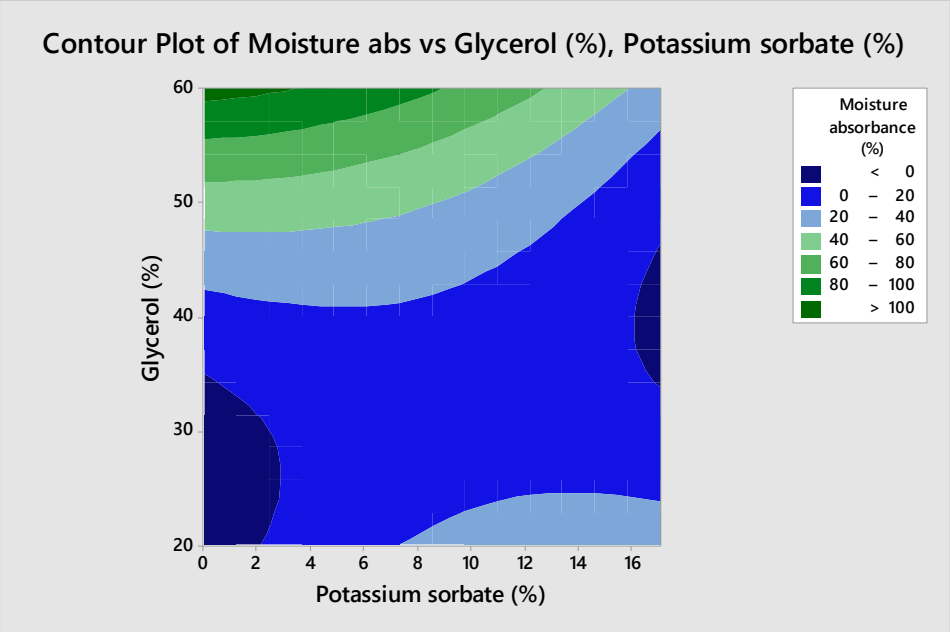
معادلـه بـا ضـریب همبسـتگی (R^2=۸۰/۷۲٪) در خصوص ارتباط حلالیت در آب و عوامل مورد اسـتفاده به دست آمده است:

Solubility (%)= 0.1806 Preservative (%)*Preservative (%)+ 0.0356 Glycerol (%)*Glycerol (%) (۸)

- جذب رطوبت

گلیسـرول، تـوان دوم گلیسـرول و اثـر متقابـل گلیسـرول و سـوربات پتاسـیم عوامـل معنـی داری (p<۰/۰۵) بـر میـزان جـذب رطوبـت بودنـد. شـکل ۱ بیـانگر تـاثیر سـوربات پتاسـیم و گلیسـرول بـر جـذب رطوبـت می‌باشـند. همـانطور کـه مشـاهده می‌شـود در غلظت‌هـای بـالای گلیسـرول در حـدود ۶۰ درصـد و مقادیر پایین سوربات پتاسیم (۴-۰ درصد)، میزان جذب رطوبت به بیش از ۱۰۰ درصد می‌رسد. معادله با ضریب همبسـتگی (R^2=۹۱/۴۷٪) در خصـوص ارتبـاط جـذب رطوبت و عوامل مورد استفاده به دست آمده است:

Moisture absorption (%)= -4.19 Glycerol + 0.0893 Glycerol (%)*Glycerol (%)- 0.1746 Preservative (%)*Glycerol (%)



شکل (۱)- نمودار کنتور میزان جذب رطوبت فیلم‌های حاوی سوربات پتاسیم و گلیسرول

- زاویه تماسی قطره آب با سطح فیلم

طبق نتایج به دست آمده هیچ کدام از متغیرهای مورد بررسی اثر معنی داری بر زاویه تماس نداشتند. با افزایش غلظت گلیسرول و سوربات پتاسیم، زاویه تماس افزایش یافته و مقدار آن به بیش از ۷۰ درجه می‌رسد (جدول ۳).

جدول (۳)- مقادیر زاویه تماس، حلالیت در آب و ویژگی‌های رنگی اندازه‌گیری شده برای فیلم‌های ضدمیکروب

زاویه تماس (°)	حلالیت (٪)	WI	YI	ΔE	b	a	L	گلیسرول (٪)	سوربات پتاسیم (٪)
۵۲/۲۳	۳۶/۸۹	۴۸/۳۱	۰/۸۳	۴۰/۵۹	۲۸/۷۶	۱/۷۴-	۵۷/۰۹	۲۶	۳
۵۳/۴۴	۱۰۸/۵۰	۵۸/۵۲	۰/۵۰	۲۹/۷۰	۱۹/۳۶	۱/۴۷-	۶۳/۳۴	۲۶	۱۷
۶۴/۱۶	۴۹/۳۱	۵۴/۱۵	۰/۲۱	۳۲/۵۳	۶/۸۹	۰/۶۲	۵۴/۶۷	۵۴	۳
۷۴/۰۸	۳۴/۰۶	۶۶/۸۵	۰/۲۲	۲۰/۲۳	۹/۲۱	۰/۲۷-	۶۸/۱۶	۵۴	۱۷
۴۹/۵۰	۸۸/۹۴	۶۳/۱۶	۰/۳۱	۲۴/۱۶	۱۲/۲	۰/۷-	۶۵/۲۵	۴۰	۰
۷۱/۶۵	۵۳/۴۰	۶۳/۱۷	۰/۳۰	۲۴/۱۱	۱۱/۸۹	۱/۰۸-	۶۵/۱۶	۴۰	۲۰
۶۷/۳۴	۴۳/۱۰	۵۶/۷۴	۰/۵۸	۳۱/۸۱	۲۱/۸۹	۲/۵۶-	۶۲/۷۸	۲۰	۱۰
۵۰/۹۰	۴۷/۰۹	۵۹/۳۵	۰/۴۰	۲۸/۱۵	۱۴/۹۲	۱/۰۷-	۶۲/۲	۶۰	۱۰
۵۷/۱۶	۲۷/۰۱	۶۴/۴۵	۰/۲۶	۲۲/۶۷	۱۰/۲۹	۰/۶-	۶۵/۹۸	۴۰	۱۰
۵۶/۹۷	۳۸/۹۳	۶۲/۶۳	۰/۲۷	۲۴/۴۲	۱۰/۳۵	۰/۵۹-	۶۴/۱	۴۰	۱۰
۸۲/۶۷	۲۵/۷۶	۶۳/۸۴	۰/۱۵	۲۲/۸۵	۵/۷۳	۱/۷۹-	۶۴/۳۴	۴۰	۱۰
۸۲/۶۷	۲۶/۷۳	۵۹/۲۰	۰/۴۵	۲۸/۶۸	۱۷/۲۷	۰/۸۹-	۶۳/۰۵	۴۰	۱۰

- ویژگی‌های رنگی و شفافیت

پارامترهای رنگی فیلم‌های تولید شده حاوی سوربات پتاسیم در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس آنالیزهای آماری صورت گرفته هیچ کدام از عوامل به کار برده شده در تولید فیلم بر ویژگی‌های رنگی مورد آزمون اثر معنی دار نداشته است. دامنه تغییرات رنگ (ΔE) که در واقع نشان دهنده میزان شفافیت فیلم‌های تولید شده است بین ۲۰/۲۳ تا ۳۲/۵۲ به دست آمد.

- خواص ضدمیکروبی

خواص ضدمیکروبی فیلم‌های آگار- کربوکسی متیل سلولز دارای غلظت‌های مختلف سوربات پتاسیم و گلیسرول علیه میکروارگانیسم‌های مختلف بررسی شد و قطر هاله عدم رشد به میلی متر اندازه‌گیری گردید. نتایج در جدول ۴ بیان شده است. در این مطالعه فیلم شاهد (بدون سوربات پتاسیم) هیچ منطقهٔ بازداری را نشان نداد در حالیکه فیلم‌های ضدمیکروبی دارای منطقهٔ بازداری مشخصی بودند. مقادیر گلیسرول و سوربات پتاسیم اثر معنی دار ($p<۰/۰۵$) بر باکتریهای کلبسیلا و *استافیلوکوکوس اورئوس* داشتند. همچنین سوربات پتاسیم اثر معنی دار بر عدم رشد کپک‌های پنی سیلیوم و آسپرژیلوس داشت. بیشترین‌هاله عدم رشد در باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* در غلظت ۱۷/۰۷ درصد سوربات پتاسیم و ۵۴/۱۴ درصد گلیسرول مشاهده شد. تنها هاله عدم رشد باکتری سودوموناس به قطر ۱۴ میلی متر در غلظت ۱۰ درصد سوربات پتاسیم و ۶۰ درصد گلیسرول به دست آمد ولی هیچ اثر ضدمیکروبی نسبت به باکتری *اشریشیاکلی* وجود نداشت.

جدول (۴)- قطر هاله عدم رشد میکروارگانیسم‌های مورد آزمایش بر حسب میلیمتر در حضور فیلم حاوی سوربات پتاسیم و گلیسرول

سوربات پتاسیم (٪)	گلیسرول (٪)	کلبسیلا	سودوموناس	اشریشیاکلی	استافیلوکوکوس	پنی سیلیوم	آسپرژیلوس
۳	۲۶	۰	۰	۰	۰	۱۳	۰
۱۷	۲۶	۰	۰	۰	۰	۱۷	۱۴
۳	۵۴	۰	۰	۰	۰	۲۴	۰
۱۷	۵۴	۱۴	۰	۰	۲۸	۰	۲۴
۰	۴۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۰	۴۰	۰	۰	۰	۲۰	۰	۰
۱۰	۲۰	۰	۰	۰	۰	۱۷	۱۴
۱۰	۶۰	۱۴	۱۴	۰	۰	۱۸	۱۲
۱۰	۴۰	۰	۰	۰	۰	۲۳	۱۴
۱۰	۴۰	۰	۰	۰	۰	۲۳	۱۴
۱۰	۴۰	۰	۰	۰	۰	۲۳	۱۴
۱۰	۴۰	۰	۰	۰	۰	۲۳	۱۴

بحث و نتیجه‌گیری

سطوح مختلف گلیسرول استفاده شده در تحقیق حاضر اثر معنی دار بر نفوذپذیری نسبت به بخار آب نداشته است و تغییر در میزان گلیسرول در تیمارهای مختلف سبب تغییر جزئی در مورد این ویژگی شده است. به طور معمول افزودن گلیسرول موجب افزایش نفوذ پذیری نسبت به بخار آب می‌شود چرا که گلیسرول به عنوان یک ترکیب چند الکلی (پلی‌ال) باعث روانی حرکت زنجیره‌های پلیمر شده و ویژگی آبدوستی فیلم را افزایش می‌دهد در نتیجه سرعت انتشار (دیفوزیون) ملکول‌های آب در ماتریکس پلیمر افزایش می‌یابد (Tong *et al.*, 2008). محققین با بررسی تاثیر سوربات پتاسیم بر ویژگی‌های مختلف فیلم های نشاسته سیب زمینی نشان دادند که غلظت های بالای سوربات پتاسیم می‌تواند افزایش نفوذپذیری به بخار آب را به دنبال داشته باشد (Shen *et al.*, 2010). در تحقیق حاضر سوربات پتاسیم استفاده شده از نظر آماری تاثیر معنی دار بر نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌های تولید شده نداشته است. عدم تاثیر معنی دار سوربات پتاسیم بر نفوذپذیری نسبت به بخار آب می‌تواند به دلیل تفاوت بیوپلیمر مورد استفاده باشد در مطالعه مذکور اندرکنش بین سوربات پتاسیم و نشاسته منجر به تولید فیلم‌های شکننده نشاسته شده بود که نتیجه آن افزایش نفوذپذیری نسبت به بخار آب است در صورتی که در مطالعه حاضر سوربات پتاسیم به کار گرفته شده در تولید فیلم بر پایه آگار-کربوکسی متیل سلولز باعث تغییر در شکنندگی فیلم حاصل نگردید و از اینرو تغییری در نفوذپذیری نسبت به بخار آب نیز دیده نمی-شود.

در مطالعه‌ای این نتایج حاصل شد که ترکیب آگار به طور قابل توجهی نفوذ پذیری به آب و حلالیت فیلم‌های ژلاتین را کاهش داد. افزایش حلالیت فیلم‌های متیل سلولز با افزودن پلاستی سایزر توسط محققین گزارش شده است (Mohajer *et al.*, 2017). زمانی که از پلاستی سایزر استفاده نمی‌شود در این صورت پیوندهای هیدروژنی قوی بین زنجیره‌های متیل سلولز ایجاد می‌شود و سرعت حلالیت پایین است ولی با افزودن پلاستی سایزر و جاگیری آن بین رشته‌های متیل سلولز پیوندهای بین زنجیره ای متیل سلولز گسسته شده و پیوندهای هیدروژنی بین پلاستی سایزر و متیل سلولز تشکیل می‌شوند که سبب به هم خوردن شبکه سه بعدی متیل سلولز و باعث افزایش حلالیت در آب فیلم نرم شده می‌گردد (Turhan and Şahbaz, 2004). از طرفی افزودن ترکیبات قطبی ممکن است سبب افزایش ماهیت آب دوستی و قابلیت انحلال گردد. علاوه بر این افزودن ترکیباتی نظیر سوربات پتاسیم می‌تواند تراکم و انباشتگی زنجیره پلیمری را تضعیف کرده و ساختار سست‌تر و ضعیف‌تری ایجاد کند که در نهایت منجر به قابلیت حرکت بیشتر در زنجیره می‌شود (McHugh *et al.*, 1994).

نتایج نشان داد میزان جذب رطوبت در نمونه دارای ۲۰ درصد گلیسرول به مقدار ۲۲/۳۵ درصد بود و با افزایش گلیسرول به ۶۰ درصد مقدار این ویژگی به ۷۶/۲۰ درصد افزایش یافت. گلیسرول به عنوان ترکیب آبدوست و با قدرت جذب آب بالا شناخته می‌شود. نتایج حاصل از آزمون جذب رطوبت حاکی از آن است کامپوزیت‌های تولید شده از قدرت جذب رطوبت بالایی برخوردار هستند. همانطور که قبلا گفته شد وارد

شدن نرم کننده بین زنجیره‌های پلیمر باعث گسسته شدن پیوندها می‌شود و پیوندهای هیدروژنی جدیدی می‌تواند بین نرم کننده و ماتریکس تشکیل گردد (Turhan *et al*., 2001).

چنانچه زاویه تماس قطره آب با سطح کمتر از ۳۰° باشد سطح کاملا مرطوب شونده و اگر بین ۹۰°-۳۰° باشد سطح به طور نسبی مرطوب شونده است در صورتی که زاویه تماس قطره بیشتر از ۹۰° باشد سطح نم پذیر نمی‌باشد (Myers, 1999). در تحقیق حاظر میزان گلیسرول و سوربات پتاسیم تاثیر معنی داری بر مقدار زاویه تماس نداشتند. کاهش زاویه تماس یا به عبارت دیگر پخش شدن قطره نشان دهنده سطوح آبدوست می‌باشد و برعکس افزایش زاویه تماس نشان می‌دهد که سطح تمایلی به مرطوب شدن ندارد و آبدوستی سطح مورد مطالعه کم می‌باشد. محققین اثر نانوکریستال سلولز بر زاویه تماس کامپوزیت‌های نشاسته- نانوکریستال سلولز را بررسی کرده و بیان داشتند که در حضور کریستالهای سلولز در ماتریکس نشاسته زاویه تماس افزایش می‌یابد که نشان دهنده افزایش آبگریزی سطحی فیلم می‌باشد (Cao *et al*., 2008).

گلیسرول و سوربات پتاسیم مورد استفاده اثر معنی داری بر تغییرات رنگ فیلم نداشتند. میزان روشنایی (L) بین صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) تغییر می‌کند و هرچه مقدار آن بیشتر باشد، نمونه روشن‌تر است. توان دوم سوربات پتاسیم بر L اثر معنی داری داشت ($p<۰/۰۵$) به طوری که در غلظت ۳ درصد سوربات پتاسیم میزان شاخص L ۵۴/۶۷ و در غلظت ۱۷ درصد ۶۸/۱۸ مشاهده شد و میزان روشنایی در نمونه حاوی مقادیر بالا سوربات پتاسیم بیشتر بود. میزان قرمزی (a) شامل سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) است. عامل تاثیرگذار بر فاکتور a گلیسرول مشاهده گردید ($p<۰/۰۵$) و با افزایش گلیسرول مقدار این شاخص افزایش یافت. میزان زردی (b) شامل آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) است. عامل تاثیرگذار بر شاخص b گلیسرول بود و با توجه به اینکه تمام مقادیر این ویژگی مثبت بود رنگ نمونه‌ها به زرد تمایل داشت. همچنین گلیسرول اثر معنی داری بر فاکتور اندیس زردی (YI) داشت ولی عامل معنی داری بر اندیس سفیدی (WI) مشاهده نگردید. بنابراین فیلم‌های تولیدی از شفافیت خوبی برخوردار بوده ولی متمایل به رنگ زرد بودند. طی تحقیقی بیان شده است که کامپوزیت نشاسته فیلمهایی غیرشفاف تولید می‌کند که رنگی متمایل به زرد و حالتی کدر دارد (Ghanbarzadeh and Noshirvani, 2014).

به منظور بررسی خواص ضدمیکروبی فیلم‌های تولید شده، میزان فعالیت بازدارندگی فیلم‌ها بر اساس اندازه گیری قطر منطقهٔ شفاف ایجاد شده در اطراف فیلم دیسکی شکل اندازه گیری شد. اگر منطقهٔ شفافی اطراف فیلم تشکیل نشود به معنای عدم تشکیل منطقهٔ بازداری است و مقدار آن در اندازه گیری صفر محسوب می‌شود. با توجه به نتایج، اثر ضدمیکروبی سوربات پتاسیم نسبت به کپک‌های پنی سیلیوم و آسپرژیلوس زیاد بود و در اکثر تیمارهای به کار برده شده هاله عدم رشد مشاهده گردید.

اثرات ضدقارچی پوشش‌های خوراکی بر پایهٔ کربوکسی متیل سلولز حاوی سوربات پتاسیم بر گونه‌های تولید کننده آفلاتوکسین آسپرژیلوس در پسته

مورد مطالعه قرار گرفته است برای تمامی کپک‌ها حداکثر بازداری در فیلم‌های حاوی غلظت‌های ۳ و ۴ درصد سوربات مشاهده شد. طبق نظر این محققین اندازه‌گیری فعالیت ضدمیکروبی با استفاده از منطقهٔ بازداری شفاف اطراف فیلم به سرعت انتشار ماده ضدمیکروبی از فیلم، اندازه و شکل فیلم بستگی دارد (Ghanbarzadeh *et al.*, 2011). در مطالعه حاضر نیز غلظت ۳ درصد سوربات پتاسیم بر کپک پنی سیلیوم موثر بود. اثر فیلم‌های کیتوزانی حاوی عوامل ضدمیکروبی اسانس سیر، سوربات پتاسیم و نایسین بر میکروارگانیسم‌های شاخص اشرشیاکلی، *استافیلوکوکوس اورئوس*، *لیستریا مونوسایتوژنز*، *سالمونلا تیفی موریوم* و *باسیلوس سرئوس* مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که عوامل ضدمیکروبی بیشتر بر میکروارگانیسم‌های گرم مثبت موثر بودند تا گرم منفی‌ها .(Pranoto *et al.*, 2005) در تحقیقی فیلم‌های کامپوزیتی با ترکیب کربوکسی متیل سلولز و سدیم آلیژنات تهیه گردید و از پیروگالیک اسید به عنوان یک ماده ضدمیکروب استفاده گردید. نتایج نشان داد پیروگالیک اسید میزان رطوبت و نفوذپذیری به آب و اکسیژن را افزایش داد و موجب افزایش شاخص‌های رنگی a و b شد ولی پارامتر L را کاهش داد. همچنین نتایج میکروبی حاکی از آن بود که فیلم‌های تهیه شده دارای خواص ضدمیکروبی علیه باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشرشیاکلی* بودند .(Han and Wang, 2017)

در این پژوهش از کربوکسی متیل سلولز و آگار به عنوان بیوپلیمر ارزان قیمت و پرکاربرد و از سوربات پتاسیم به عنوان یک نگهدارندهٔ ضدمیکروبی متداول در مواد غذایی برای تهیه فیلم‌های ضدمیکروبی استفاده گردید. نتایج حاصل نشان داد در تولید فیلم‌های آگار-کربوکسی متیل سلولز مقادیر گلیسرول و سوربات پتاسیم به کار برده شده تاثیر معنی داری بر حلالیت و جذب رطوبت فیلم‌ها داشت. همچنین فیلم‌های تولید شده دارای زاویه تماس بالا و درنتیجه خاصیت آبدوستی پایین بودند. بررسی ویژگی‌های رنگی نشان داد ترکیبات به کار برده شده اثر معنی داری بر پارامترهای رنگی داشته و در تغییر رنگ فیلم موثر بودند به طوری که فیلم‌های تولیدی از شفافیت خوبی برخوردار بوده و متمایل به رنگ زرد بودند. فیلم‌های حاصل مناطق بازداری از رشد آشکاری را در خصوص باکتریهای کلبسیلا و *استافیلوکوکوس اورئوس* نشان داد و خاصیت ضدباکتریایی علیه باکتری سودوموناس دیده شد. همچنین فیلم‌های حاوی سوربات پتاسیم موجب کاهش چشمگیر و معنی دار رشد کپک‌های *آسپرژیلوس نایجر* و *پنی سیلیوم دیجیتاتوم* در مقایسه با نمونه شاهد شد. بدین ترتیب با به کارگیری بیوپلیمرهای مفید و ارزان قیمت و افزودن ترکیبات ضدمیکروبی نظیر سوربات پتاسیم علاوه بر حفاظت از محیط زیست می‌توان فیلمی با ویژگی‌های مناسب تولید کرد و از رشد میکروارگانیسم‌ها جلوگیری به عمل آورد. مطالعات بیشتری در مورد ویژگی‌های میکروسکوپی و بررسی ساختار کریستالی فیلم‌های تولید شده و ارتباط آن با خواص ضدمیکروبی مشاهده شده در فیلم‌ها پیشنهاد می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان هیچگونه تعارض منـافعی بـرای اعـلام ندارند.

منابع

- Aloui, H., Licciardello, F., Khwaldia, K., Hamdi, M., and Restuccia, C. (2015). Physical properties and antifungal activity of bioactive films containing Wickerhamomyces anomalus killer yeast and their application for preservation of oranges and control of postharvest green mold caused by Penicillium digitatum. International Journal of Food Microbiology, 200, 22–30.
- Anglès, M. N., and Dufresne, A. (2001). Plasticized Starch/Tunicin Whiskers Nanocomposite Materials. 2. Mechanical Behavior. Macromolecules, 34(9), 2921-2931.
- ASTM. (1995). Annual Book of ASTM Standards. Standard test methods for water vapor transmission of materials (Vol. Designation E 96-95). Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Benchabane, A., and Bekkour, K. (2008). Rheological properties of carboxymethyl cellulose (CMC) solutions. Colloid and Polymer Science, 286(10), 1173–1180.
- Boun, H. R., and Huxsoll, C. C. (1991). Control of Minimally Processed Carrot (Daucus carota) Surface Discoloration Caused by Abrasion Peeling. Journal of Food Science, 56(2), 416–418.
- Calo, J. R., Crandall, P. G., O'Bryan, C. A., and Ricke, S. C. (2015). Essential oils as antimicrobials in food systems – A review. Food Control, 54, 111–119.
- Campos, C. A., Gerschenson, L. N., and Flores, S. K. (2011). Development of Edible Films and Coatings with Antimicrobial Activity. Food and Bioprocess Technology, 4(6), 849–875.
- Cao, X., Chen, Y., Chang, P. R., Stumborg, M., and Huneault, M. A. (2008). Green composites reinforced with hemp nanocrystals in plasticized starch. Journal of Applied Polymer Science, 109(6), 3804–3810.
- Gennadios, A., Weller, C. L., Hanna, M. A., and Froning, G. W. (1996). Mechanical and barrier properties of egg albumen films. Journal of Food Science, 61(3), 585–589.
- Ghaly, A. E., Dave, D., and Ghaly, A. E. (2011). Meat Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: A Critical Review. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 6(4), 486–510.
- Ghanbarzadeh, B., Noshirvani, N. (2014). Properties of sodium montmorillonite-starch based bionanocomposites: Surface topography, moisture absorption, contact angle, color properties. Food Science & Technology (Iran), 44(11), 83-94. [In Persian]
- Ghanbarzadeh B., Saianjali S., & Ghiyasifar, SH. (2011). Antifungal properties of CMC-based films containing potassium sorbate on selected Aspergillus strains in pistachio. Food Science & Technology (Iran), 8 (33) :43-50. [In Persian]
- Gialamas, H., Zinoviadou, K. G., Biliaderis, C. G., and Koutsoumanis, K. P. (2010). Development of a novel bioactive packaging based on the incorporation of Lactobacillus sakei into sodium-caseinate films for controlling Listeria monocytogenes in foods. Food Research International, 43(10), 2402–2408.
- Han, Y., and Wang, L. (2017). Sodium alginate/carboxymethyl cellulose films containing pyrogallic acid: physical and antibacterial properties. Journal of the Science of Food and Agriculture, 97(4), 1295–1301.
- Lee, W.-K., Lim, Y.-Y., Leow, A. T.-C., Namasivayam, P., Abdullah, J. O., and Ho, C.-L. (2017).

Factors affecting yield and gelling properties of agar. Journal of Applied Phycology, 29(3), 1527–1540.

- Mchugh, T. H., Aujard, J. -F., and Krochta, J. M. (1994). Plasticized Whey Protein Edible Films: Water Vapor Permeability Properties. Journal of Food Science, 59(2), 416–419.
- Mohajer, S., Rezaei, M., and Hosseini, S. F. (2017). Physico-chemical and microstructural properties of fish gelatin/agar bio-based blend films. Carbohydrate Polymers, 157, 784–793.
- Myers, D. (1999). Surfaces, interfaces, and colloids : principles and applications. Wiley-VCH p 81.
- Nguyen Van Long, N., Joly, C., and Dantigny, P. (2016). Active packaging with antifungal activities. In International Journal of Food Microbiology, 220, 73-90.
- Noshirvani, N., Ghanbarzadeh, B., Gardrat, C., Rezaei, M. R., Hashemi, M., Le Coz, C., and Coma, V. (2017). Cinnamon and ginger essential oils to improve antifungal, physical and mechanical properties of chitosan-carboxymethyl cellulose films. Food Hydrocolloids, 70, 36-45.
- Pranoto, Y., Rakshit, S. K., and Salokhe, V. M. (2005). Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. LWT - Food Science and Technology, 38(8), 859–865.
- Rhim, J.-W. (2011). Effect of clay contents on mechanical and water vapor barrier properties of agar-based nanocomposite films. Carbohydrate Polymers, 86(2), 691–699.
- Robledo, N., Vera, P., López, L., Yazdani-Pedram, M., Tapia, C., and Abugoch, L. (2018). Thymol nanoemulsions incorporated in quinoa protein/chitosan edible films; antifungal effect in cherry tomatoes. Food Chemistry, 246, 211–219.
- Romero-Bastida, C. A., Bello-Pérez, L. A., García, M. A., Martino, M. N., Solorza-Feria, J., and Zaritzky, N. E. (2005). Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. Carbohydrate Polymers, 60(2), 235–244.
- Rouf, T. B., and Kokini, J. L. (2018). Natural Biopolymer-Based Nanocomposite Films for Packaging Applications. In M. Jawaid and S. K. Swain (Eds.), Bionanocomposites for Packaging Applications Springer International Publishing. pp. 149–177.
- Sánchez-González, L., Quintero Saavedra, J. I., and Chiralt, A. (2013). Physical properties and antilisterial activity of bioactive edible films containing Lactobacillus plantarum. Food Hydrocolloids, 33(1), 92–98.
- Shen, X. L., Wu, J. M., Chen, Y., and Zhao, G. (2010). Antimicrobial and physical properties of sweet potato starch films incorporated with potassium sorbate or chitosan. Food Hydrocolloids, 24(4), 285–290.
- Shit, S. C., and Shah, P. M. (2014). Edible Polymers: Challenges and Opportunities. Journal of Polymers, 2014, 427259.
- Tajkarimi, M. M., Ibrahim, S. A., and Cliver, D. O. (2010). Antimicrobial herb and spice compounds in food. Food Control, 21(9), 1199–1218.
- Tong, Q., Xiao, Q., and Lim, L.-T. (2008). Preparation and properties of pullulan–alginate–carboxymethylcellulose blend films. Food Research International, 41(10), 1007–1014.
- Turhan, K. N., and Şahbaz, F. (2004). Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methylcellulose-based edible films. Journal of Food Engineering, 61(3), 459–466.
- Turhan, K., Sahbaz, F., and Güner, A. (2001). A Spectrophotometric Study of Hydrogen Bonding in Methylcellulose-based Edible Films Plasticized by Polyethylene Glycol. Journal of Food Science, 66, 59–62.
- Vesal, H., Mortazavian, A. M., Mohammadi, A. R., and Esmaeili, S. (2013). Potassium sorbate and sodium benzoate levels in doogh samples consumed by the Tehran market measured using high performance liquid chromatography. Iranian-J-Nutr-Sci-Food-Technol, 8(2), 181–190. [In Persian]