مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بررسی ویژگی های ضد میکروبی و ایزوترم جذب تعادلی رطوبت بایونانوکامپوزیت نشاسته کاساوا/نانو دی اکسید تیتانیوم/اسانس نعنا فلفلی

سیمین نوریان[۱]، عبدالرضامحمدی نافچی[۲*]، مرضیه بلندی[۳]، مریم جوکار[٤]

۱-دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان

۲-دانشیار دانشگاه USM مالزی

۳-دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان

٤- استادیار دانشگاه تکنیکال دانمارک

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۹ /۰۷/۲٦

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۲۷

کلمات کلیدی:

بایونانوکامپوزیت،
نشاسته کاساوا،
نانوذرات دی اکسید تیتانیوم،
نعناع فلفلی.

DOI: 10.52547/fsct.18.02.17

*مسئول مکاتبات:
amohammadi@usm.my

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی اثر ترکیبی نانودی‌اکسید تیتانیوم (TiO2-N) و اسانس نعناع فلفلی بر ایزوترم جذب رطوبت تعادلی رطوبت فیلم نشاسته کاساوا و اثر آن فیلم بر معادله رشد میکروبی استافیلوکوکوس اورئوس بود. برای این منظور، فیلم بایوکامپوزیتی نشاسته کاساوا، با افزودن ۱، ۳ و ۵ درصد TiO2-N، ۱، ۲ و ۳ درصد اسانس نعناع فلفلی و گلیسرول (به عنوان پلاستی‌سایزر) توسط روش قالب گیری (کاستینگ) تهیه شد. ایزوترم جذب رطوبت تعادلی و فعالیت ضدباکتریایی فیلم‌های نانوبایوکامپوزیتی تولید شده در مقابل استافیلوکوکوس اورئوس مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج حاصله نشان داد که با افزودن نانوذرات و اسانس به بایوکامپوزیت‌های نشاسته‌ای، ایزوترم جذب رطوبت تعادلی به سمت محتوای رطوبت پایین‌تر جابه‌جا شد. نتایج آزمون‌های میکروبی بیان کرد که فیلم نشاسته کاساوای خالص (شاهد) فاقد فعالیت ضدباکتریایی در مقابل استافیلوکوکوس اورئوس بود و افزایش غلظت نانوذرات و اسانس نعناع فلفلی در فیلم‌های نشاسته‌ای منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت ضدباکتریایی گردید ($p<0.05$). با این حال، فعالیت ضدباکتریایی TiO2-N بالاتر از اسانس نعناع فلفلی بود. افزودن TiO2-N و اسانس نعناع، فاز تأخیری در منحنی رشد میکروبی را افزایش و فاز لگاریتمی را کاهش داد. در نهایت، بر طبق نتایج حاصله در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که تلفیق ترکیب TiO2-N و اسانس نعناع‌فلفلی سبب بهبود فعالیت ضدباکتریایی بایوکامپوزیت‌های برپایه نشاسته کاساوا در مقابل استافیلوکوکوس اورئوس گردید و از این فیلم‌های بایونانوکامپوزیتی می‌توان جهت بسته‌بندی و توسعه دوره ماندگاری محصولات غذایی استفاده نمود.

۱- مقدمه

سبزیجات و میوه‌های تازه جزء موادغذایی ضروری در رژیم غذایی انسان می‌باشند و امروزه به خوبی ثابت شده است که این مواد در دهه‌های اخیر گرایش مصرف‌کنندگان به محصولات غذایی با کیفیت بهتر، تازه‌تر و نیز با دسترسی آسان‌تر رو به فزونی نهاده است. در این بین صنعت بسته‌بندی با به کارگیری مواد و روش‌های بسته‌بندی نوین و مناسب نقش مهمی در کاهش ضایعات مواد غذایی و نیز تولید محصولات سالم‌تر ایفاء نموده است. توسعه‌ی روز افزون صنایع پتروشیمی و پیشرفت سریع تکنولوژی‌های مربوط به تولید پلاستیک‌های صنعتی موجب کاربرد هر چه بیشتر پلیمرهای نفتی در صنایع بسته‌بندی و به خصوص بسته‌بندی‌های ویژه‌ی مواد غذایی شده است. دلیل این امر دسترسی آسان به ماده‌ی اولیه، هزینه‌ی نسبتاً پایین، ویژگی‌های مکانیکی مطلوب و بازدارندگی خوب می‌باشد [۱و ۲]. سالانه در دنیا بیش از ۱۵۰ میلیون تُن پلاستیک‌های سنتزی از مشتقات نفتی تولید می شوند. این محصولات دارای ماهیت آب‌گریزی هستند و در نتیجه یکی از بزرگترین مشکلات این مواد، زیست‌تخریب ناپذیری آن‌ها می‌باشد [۳].

نگرانی در مورد آلودگی‌های محیط زیست توسط پلیمرهای سنتزی و تجزیه‌ناپذیر و همچنین تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات غذایی با کیفیت بالا، پژوهشگران را به تحقیق بر روی امکان استفاده از پلیمرهای طبیعی زیست‌تخریب‌پذیر در تولید مواد بسته‌بندی وا داشته است و باعث توسعه مواد بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر مانند فیلم‌های خوراکی شده است. اگرچه جایگزینی کامل این مواد با پلیمرهای سنتزی تقریباً غیرممکن است، ولی می‌توان برای مواردی نظیر بسته‌بندی موادغذایی حتی‌الامکان از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر استفاده نمود [۳]. جایگزینی پلیمرهای نفتی با پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر باعث آسانی از بین بردن زباله‌های پلاستیکی و کاهش مقدار ضایعات حاصل از آن‌ها می‌شود[٤].

پلیمرهای زیستی خوراکی با زیست‌تخریب‌پذیری زیاد که از منابع تجدیدپذیر کشاورزی حاصل می‌شوند، گزینه مناسبی در این زمینه به شمار می‌آیند. تولید فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر، از پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، چربی‌ها یا مخلوطی از آن‌ها استفاده می‌شود. نشاسته یکی از این پلیمرهای زیستی است که به دلیل ماهیت پلیمری، قابلیت فیلم‌سازی دارد. علاوه بر این، به دلیل قیمت مناسب و در دسترس بودن، توجه زیادی به آن می‌شود [۵]. نشاسته به وفور در طبیعت یافت می‌شود، به دلیل قیمت پائین، خاصیت ترموپلاستیکی، قابلیت تجدیدشوندگی و بازیافت زیستی، یکی از مواد خام جذاب و مورد علاقه برای استفاده در بسته‌بندی‌های خوراکی محسوب می‌گردد [٦].

نانوپُرکننده‌های زیادی به منظور تهیه نانوکامپوزیت‌ها به کار گرفته می‌شوند که از آن جمله می‌توان به سیلیکات‌های لایه‌ای (نانورُس)، نانولوله‌های کربن، نانودی‌اکسیدتیتانیوم و نانوذرات آلی مانند نانوبلورهای سلولز و نشاسته اشاره کرد [۷و۸]. نانوکامپوزیت‌ها، پلیمرهایی هستند که در آن‌ها از ترکیبات آلی یا غیرآلی مختلفی با اشکال مختلف صفحه‌ای و کروی، در ابعاد نانو به عنوان پُرکننده استفاده می‌شود. فیلم‌های حاصل از ترکیب نانو مواد و پلیمرهای زیستی و یا به اصطلاح نانوبایوکامپوزیت‌ها، خواص کاربردی مطلوب‌تری از خود نشان می‌دهند [۹ و ۱۰]. نانوذرات، خواص ضدمیکروبی خوبی از خود نشان می‌دهند، که به دلیل دارا بودن نسبت سطح به حجم بالای آن‌هاست [۱۱و ۱۲]. دی‌اکسید تیتانیوم از اکسیدهای فلزی است که با دارا بودن قابلیت‌های مختلفی مانند اکسیداسیون قوی، زیست‌سازگاری و ویژگی‌های مورد قبول مکانیکی و خواص ضدمیکروبی، یکی از نانوذراتی است که در گستره وسیعی از علوم کاربرد فراوان یافته است. دی اکسید تیتانیوم یا TiO2-N را به صورت افزودنی در بسته‌بندی‌های مورد غذایی استفاده می‌کنند[۱۳].

اسانس‌ها، ترکیب‌های روغنی معطر هستند که از اندام‌های مختلف گیاهان معطر به دست آمده و از زمان قدیم به عنوان مواد طعم‌دهنده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از این مواد علاوه بر جلوگیری از رشد باکتری‌ها و کپک‌های آلوده‌کننده مواد غذایی، به منظور افزایش عمر نگهداری غذاهای فرآیند شده در سیستم غذایی، نیز استفاده می‌شود. از آنجایی که آلودگی میکروبی می‌تواند عمر مفید ماده غذایی را کاهش دهد و احتمال رشد برخی میکروارگانیسم‌های پاتوژن نیز وجود دارد؛ فیلم‌های حاوی مواد ضدمیکروبی تولید شد، که این فیلم‌ها هم زیست‌تخریب‌پذیر و خوراکی هستند و هم خاصیت ضدمیکروبی دارند. این

بسته‌بندی‌ها قادرند از راه‌های مختلفی مانند کاهش سرعت رشد میکروارگانیسم‌ها، تأخیر در رشد آن‌ها، جلوگیری از رشد آن‌ها و یا غیرفعال کردن یا نابود کردن میکروارگانیسم‌ها، از رشد میکروارگانیسم‌های مواد فاسد و پاتوژن‌ها جلوگیری کنند [۱۶-۱۴]. فعالیت ضدمیکروبی اسانس نعناع فلفلی در برابر برخی از پاتوژن‌های غذایی نظیر استافیلوکوکوس اورئوس، اشرشیاکلی و غیره توسط محققین مختلف گزارش شده است [۱۷و ۱۸].

لذا از آنجا که خوص ضدمیکروبی نانوذرات و گیاه نعناع فلفلی در مطالعات پیشین گزارش شده است، هدف از این مطالعه بررسی خواص ضدمیکروبی و ایزوترم جذب تعادلی رطوبیت فیلم بایونانوکامپوزیت نشاسته کاساوا حاوی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اسانس نعناع فلفلی می باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱-مواد

در این پژوهش از نانودی اکسید تیتانیوم و نشاسته کاساوا (SIM Company, Penang, Malaysia)، اسید سولفوریک (شرکت سیگما-آلدریچ[1] کشور کانادا)، گلیسرول، کلریدباریم، کلریدکلسیم و محیط کشتهای نوترینت براث و مولرهینتون آگار (شرکت مرک[2] آلمان)، استفاده شد. سوش میکربی لیوفیلیزه استافیلوکوکوس اورئوس از سازمان پژوهشهای علمی ایران و اسانس نعناع فلفلی از شرکت باریج اسانس تهیه شدند.

۲-۲-آماده سازی نمونه‌ها

برای تهیه فیلم بایونانوکامپوزیتی از روش تیمورپور و همکاران استفاده شد[۱۹]. برای توزیع مناسب نانوذرات در ساختار فیلم، ابتدا نانوذرات در آب پراکنده شده و یکنواخت گردیدند و سپس از این آب برای تهیه دسپرسیون نشاسته استفاده شد. برای تهیه محلول‌های نانو، با غلظت‌های ۱، ۳ و ۵ درصد (وزن نانوذره/وزن خشک نشاسته)، ابتدا مقدار مناسبی از نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد. جهت اطمینان از همگن شدن، محلول‌های نانو به مدت ۲۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک یکنواخت شدند. در ادامه ٤ گرم نشاسته کاساوا به محلول‌های نانو افزوده شده و مخلوط گردید. سپس ۲ گرم گلیسرول (۵۰ درصد (وزنی/وزنی)) به عنوان نرم‌کننده (پلاستی‌سایزر) به آن افزوده و همزده شد. این سوسپانسیون در حالی که همزده می‌شد، تا دمای ۹۰ درجه سلسیوس گرم گردید و برای ژلاتینه شدن کامل نشاسته در این دما به مدت ۳۰ دقیقه نگهداشته شد. در حین خنک شدن این مخلوط در دمای ٤۵ درجه سلسیوس به میزان مناسب از اسانس نعناع فلفلی به فیلم (غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ درصد) اضافه شده و حدود ۳۰ دقیقه همگن شد [۲۰]. سپس ۹۰ گرم از دیسپرسیون نهایی بر روی قالبهای ۱۶*۱۶ سانتی متری ریخته شده و در آون ٤۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت خشک شد. نهایتا فیلمها از قالبها جدا شده و در دسیکاتور با رطوبت نسبی ۵۵٪ تا زمان آزمونها نگهداری شد. از هر فیلم حداقل سه نمونه تهیه گردید.

۲-۳- بررسی ایزوترم جذب تعادلی رطوبت فیلم‌ها

ایزوترم جذب رطوبت فیلم‌های بایونانوکامپوزیت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از روش بیان شده توسط برتوزی و همکاران۳ بررسی شد و محتوای رطوبت در حالت تعادل (بر اساس وزن خشک) برای هر یک از رطوبت نسبی‌های متعادل اندازه‌گیری گردید[۲۱]. سپس داده‌های تجربی جذب در معادله GAB جایگزین شد. معادله GAB توسط رابطه (۱) تعریف می‌شود:

رابطه (۱):

$$W = \frac{Mm * C_G * K * a_w}{(1 - K * a_w)(1 - K * a_w + C_G * K * a_w)}$$

که درآن، Mm, CG, K پارامترهای معادله GAB هستند، W محتوی رطوبت (برمبنای خشک) و aw فعالیت آبی است. برای ارزیابی دقت و صحت معادله G.A.B، داده‌های‌تجربی برای ایزوترم جذب به صورت درصد متوسط ضریب انحراف نسبی (E) برای فیلم‌ها محاسبه شد. انحراف نسبی توسط رابطه (۲) تعیین گردید:

1. Sigma-aldrich
2. merck
3. Bertuzzi *et al.*

رابطه (۲):

$$E = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{|mi - mpi|}{mi}$$

که درآن، N مقدار داده‌های تجربی، mi, mip به ترتیب محتوای رطوبت تجربی و پیش‌بینی شده می‌باشد.

در این مدل اگر مقدار انحراف نسبی کمتر از ۱۰ درصد باشد، نشان‌دهنده براز قابل‌قبول است [۲۲].

۲-٤- بررسی خواص ضدمیکروبی فیلم‌های بایونانوکامپوزیت

۲-٤-۱- بررسی فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌ها به روش نفوذ آگار (روش استاتیک)

بدین منظور سویه استاندارد میکروبی استافیلوکوکوس اورئوس (ATCC 8739 / PTCC 13330) از آزمایشگاه مرکزی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران به صورت لیوفیلیزه تهیه شد. آمپول حاوی میکروب مذکور با احتیاط کامل در شرایط استریل و در زیر هود میکروبی شکسته شده و سپس مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر محیط کشت استریل نوترینت براث٤ توسط پی‌پت پاستور به داخل آمپول تخلیه شده و با سر سوزن بهم‌زده شد. سپس سوسپانسیون میکروبی در درون ظرف حاوی محیط کشت استریل ریخته شده و به مدت ۲٤ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس نگهداری گردید. در ادامه در محیط کشت مولر هینتون آگار۵ به روش خطی چهار منطقه‌ای کشت داده شد و به مدت ۲٤ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شد.

آزمایش فعالیت ضدمیکروبی بر روی فیلم با استفاده از روش نفوذ آگار٦ بر اساس روش بیان شده توسط مایزورا و همکاران صورت گرفت[۲۳]. برای تعیین فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های بایونانوکامپوزیتی از روش نفوذ ماده ضدمیکروبی در محیط آگاردار استفاده شد. فیلم‌های تولید شده با استفاده از یک قالب به دیسک‌هایی به قطر ۵ میلی‌متر تبدیل شده و سپس تک کلنی از باکتری برداشته شده و کشت ٤ منطقه‌ای رو پلیت داده شد تا باکتری فعال گردید. پس از کشت، درون انکوباتور ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۲٤ ساعت گذاشته شد تا باکتری رشد کند و در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. به منظور حفظ قابلیت‌زیستی باکتری، هر بیست روز کشت مجدد آن انجام گردید. سپس از باکتری فعال شده توسط لوپ تک کلنی برداشته شده و داخل لوله آزمایش حاوی ۵ سی‌سی آب مقطر استریل شده اضافه شد تا کدورت سوسپانسیون میکروب برابر کدورت نیم مک‌فارلند گردید. استانداردهای نیم مک‌فارلند با افزودن حجم خاصی از محلول اسید سولفوریک ۱ درصد و کلرید باریم ۱/۱۷۵ درصد برای به دست آوردن یک محلول سولفات‌باریم با دانسیته نوری خاص تهیه شدند. معمولاً استاندارد نیم مک‌فارلند که حاوی ۹/۹۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۱ درصد و ۰/۰۵ میلی‌لیتر کلریدباریم ۱/۱۷۵ درصد می‌باشد، بیشتر کاربرد دارد. استاندارد نیم مک‌فارلند کدورتی معادل با یک سوسپانسیون باکتری حاوی $1/5 \times 10^8$ cfu/ml ایجاد می‌کند. سپس زیر هود میکروبی از این لوله آزمایش توسط سمپلر ۱۰۰۰ میکرولیتر، ۱ سی‌سی از محلول را برداشته و سطح پلیت ریخته شده و توسط میله L شکل کشت داده شد، سپس دیسک‌ها در شرایط استریل (۱۰ دقیقه زیر اشعه UV قبل از کشت دادن) روی محیط مولر هینتون آگار قرار داده شدند. پلیت‌ها سپس در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۲٤ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. سپس قطر هاله‌های تشکیل شده با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. اختلاف مساحت هاله‌های تشکیل شده از مساحت دیسک‌ها به عنوان شاخص فعالیت ضدمیکروبی در نظر گرفته شد. در مواردی که هاله تشکیل نشده، یعنی فعالیت ضدمیکروبی وجود ندارد و اختلاف مساحت برابر صفر در نظر گرفته شد.

۲-٤-۲- تعیین مدل سینتیکی رشد میکروبی در حالت دینامیک

بدین منظور سویه‌های استاندارد میکروبی استافیلوکوکوس اورئوس از آزمایشگاه مرکزی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران به صورت لیوفیلیزه تهیه شد. آمپول حاوی میکروب مذکور با احتیاط کامل در شرایط استریل و در زیر هود میکروبی

4. Nutrient Broth
5. Muller- Hinton Agar
6. Agar Diffusion Method

شکسته شده و سپس مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر محیط کشت استریل نوترینت براث توسط پیپت به داخل آمپول تخلیه، و با سر سوزن به هم زده شد. سپس سوسپانسیون میکروبی در درون ظرف حاوی محیط کشت استریل ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. در ادامه در محیط کشت مولر هینتون آگار به روش خطی، چهار منطقه‌ای کشت داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه گذاری شد.

به منظور بررسی اثر ضدمیکروبی به روش دینامیک فیلم‌های بایونانوکامپوزیتی بر باکتری مورد بررسی در این تحقیقی، از روش فلاسک استفاده شد. برای روش فلاسک چرخان، نمونه‌های فیلم بایونانوکامپوزیتی (۱/۵ × ۲ cm) در ۱۰۰ میلی‌لیتر از محیط کشت استریل نوترینت براث برای باکتری و با سرعت چرخش ۱۵۰ دور در دقیقه غوطه‌ور شد. سپس در انکوباتور چرخان در دمای ۳۷ درجه سلسیوس قرار داده شد. با توجه به اینکه جمعیت میکروبی با دانسیته نوری در ارتباط مستقیم است، برای نشان دادن روند رشد دینامیک میکروبی از نمودار شدت جذب بر اساس زمان استفاده شد. نتایج از رشد میکروبی با خواندن تغییرات جذب در ۶۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر طی ۱۱ ساعت، در فواصل منظم (۱ ساعت)، به دست آمد. نتایج به دست آمده با استفاده از مدل اصلاح شده گمپرتز[7] اصلاح شده مدل‌سازی شد [۲۴].

$$X(t) = X_0 + A\exp\left\{-\exp\left[\frac{\mu_{max}\times 2.7182}{A}(\lambda - t) + 1\right]\right\}$$

در این مدل X(t) غلظت میکروارگانیسم در هر لحظه می‌باشد که از جذب قرائت شده در ۶۰۰ نانومتر تعیین می‌شود. X0 غلظت جذب قرائت شده در زمان صفر، A ماکزیمم غلظت باکتری در فاز سکون، μmax ماکزیمم سرعت رشد مخصوص و λ مدت زمان فاز تأخیر می باشد.

با توجه به داده‌های به دست آمده در صورتی که مدت زمان فاز تأخیر افزایش یابد یا ماکزیمم غلظت باکتری کاهش یابد نشان‌دهنده وجود اثر ضدمیکروبی علیه باکتری است.

۲-۵- آنالیز آماری

از آنجایی که در این تحقیق ۳ سطح نانوذرات TiO2-N و ۳ سطح اسانس نعناع فلفلی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصله با نمونه شاهد (فاقد نانوذره و اسانس) مقایسه گردیدند و آزمون‌های مربوطه در سه تکرار صورت گرفتند، حجم نمونه ۳۰ بود. میانگین هر پارامتر، توسط آنالیز تجزیه واریانس در طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل و با استفاده از نرم افزار SPSS 22.0 تجزیه و تحلیل شدند. تفاوت‌های بین تیمارها، در آزمون دانکن و در سطح احتمال ۹۵ درصد بیان گردیده و نمودارهای مربوطه با Excel 2013 رسم شدند.

برای تعیین پارامترهای رشد معادله گمپرتز و تعیین سینتیک رشد میکروبی از نرم افزار مطلب و تکنیک LEAST SQUAR استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی اثر نانو دی اکسید تیتانیوم و اسانس نعنا فلفلی بر ایزوترم جذب رطوبت تعادلی فیلم‌های نشاسته کاساوا

به کمک روش کمینه کردن مجموع مربعات اختلافات داده‌های تئوری و عملی (Least Squar)، پارامترهای معادله GAB در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد، که این داده ها در جدول شماره ۱، ارائه شده است. معادله GAB به وسیله فرمول زیرتعریف می‌شود:

$$W = \frac{Mm * C_G * K * a_w}{(1 - K * a_w)(1 - K * a_w + C_G * K * a_w)}$$

که در آن: Mm, CG, K پارامترهای معادله GAB، W محتوای‌رطوبت (برمبنای خشک) و aw (فعالیت آبی) است. بالاهووک[8] (۲۰۰۴)، گزارش داد که در صورتی که برای ماده‌ای ۰≤K≤۱ و CG >۲ باشد، آنگاه در طبقه‌بندی برونوئر-امت-تلر[9] (BET) نوع مدل جذب تعادلی آن ماده از تیپ نوع II است و در صورتی که 0≤K≤1 و 0≤CG≤2 نوع مدل جذب تعادلی ماده از تیپ نوع III خواهد بود.

7 . Gompertz

8. Blahovoc
9. Brunauer-Emmett-Teller

با توجه به داده‌های جدول ۱، فیلم‌های بایوکامپوزیتی برپایه نشاسته کاساوای شاهد و فیلم‌های حاوی ۱ درصد نانوذرات TiO2-N در ترکیب با ۱، ۲ و ۳ درصد اسانس نعناع فلفلی، دارای تیپ جذب تعادلی III از طبقه‌بندی BET بودند که این رفتار، نوعی از جذب آب برای بسیاری از مواد آب‌دوست است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزودن نانوذرات TiO2-N در غلظت‌های ۳ و ۵ درصد در ترکیب با سطوح ۳-۱ درصد اسانس نعناع فلفلی، تیپ معادلات به نوع II تغییر رفتار داد، که بیانگر کاهش رفتار آب‌دوستی فیلم‌های بایونانوکامپوزیتی تولیدی می‌باشد [۲۵].

Table 1 Equilibrum Constant of Moisture Sorption Isotherm (GAB Model) of Cassava Starch Film with Nano Titanium Dioxide and Peppermint Essential Oil

Concentration nanoparticles TiO2-N	Concentration peppermint essential oil	K	CG	Mm
0%	0%	0.837	1.155	10.03
1%	1%	0.859	1.566	9.99
	2%	0.864	1.568	9.46
	3%	0.869	1.584	9.03
3%	1%	0.893	2.381	9.51
	2%	0.894	2.395	9.32
	3%	0.899	2.511	8.64
5%	1%	0.916	2.695	8.39
	2%	0.916	2.787	8.22
	3%	0.923	2.960	8.11

پارامتر K در معادله GAB [۱۰] یک فاکتور تائیدکننده از ویژگی‌های مولکول‌های چندلایه در اکثر مایعات است. طبق مطالعات مولر و همکاران[۱۱] ، K و CG، ثابت‌های جذب هستند، که به انرژی برهم‌کنش بین اولین و سایر مولکول‌های جذب شده بر روی جایگاه‌های جذب مرتبط می‌باشند. افزایش میزان ثابت K در بایونانوکامپوزیت‌ها در مقایسه با ثابت CG بیانگر کاهش در انرژی جذب برای مقدار خالص از چند لایه است. در فعالیت آبی بین ۰/۹-۰/۱ فیلم‌های تلفیق شده با نانوذرات TiO2-N نشان داده شده که محتوای رطوبت تعادلی در مقایسه با فیلم شاهد کمتر است (Mm). این احتمال وجود دارد که با توجه به تعامل میان پلاستی‌سایزر، ماتریکس بایوپلیمر و نانوذرات TiO2-N، گروه هیدروکسیل قابل دسترس در فعل و انفعالات داخلی یا مولکول آب کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه به ساختاری با خاصیت آب‌دوستی کمتری منجر می‌شود. فعل و انفعالات بین نانوذرات و آب و یا/ پلاستی‌سایزر از نوع یون دوقطبی است که بین نانوذرات و گروه‌های هیدروکسیل برای پلاستی‌سایزر و آب رخ می‌دهد. Mm نشان‌دهنده مقدار آب تک‌لایه برای فیلم‌ها است[۲۶].

همانگونه که از نمودار 1 نیز پیداست، افزودن نانوذرات TiO2-N و اسانس نعناع فلفلی به فیلم بایوکامپوزیتی برپایه نشاسته کاساوا منجر به جابجایی نمودار ایزوترم جذب به محتوای رطوبت پایین‌تر گردیده است. این نتایج با نتایج مطالعات قبلی تطابق داشت.

10. Guggenhein, Anderson and Boer
11. Muller *et al.*

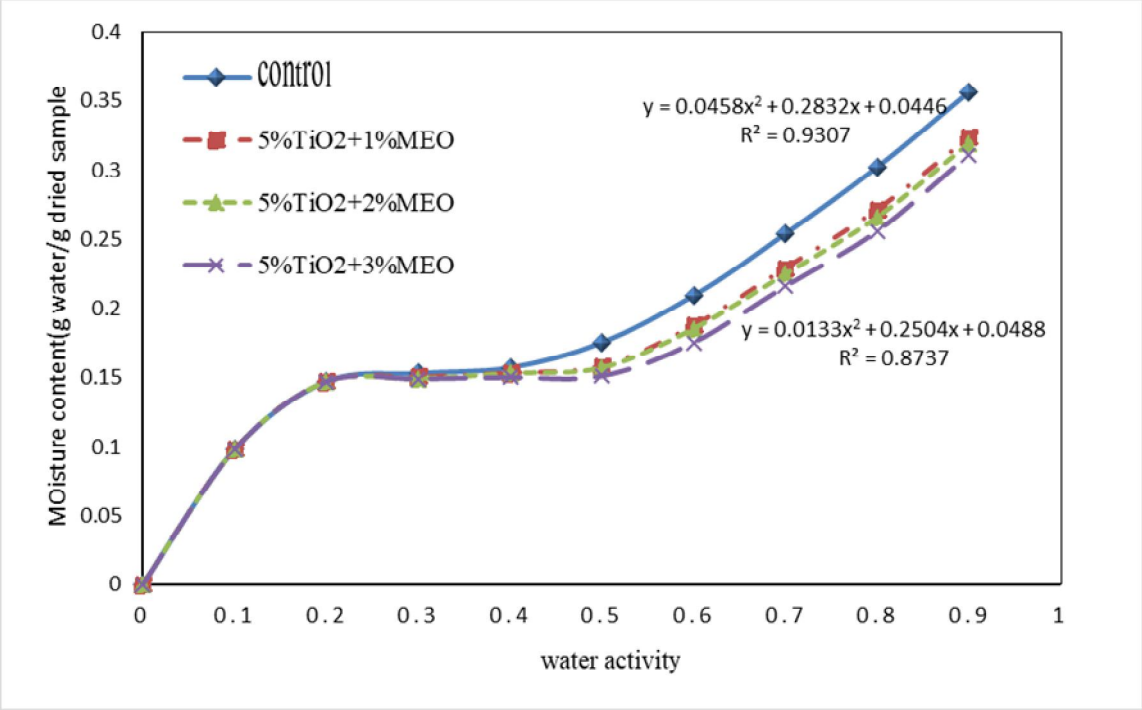

Fig 1 Third order polynomial moisture sorption isotherm cassava starch film combined of different concentration of nano TiO2-N and peppermint essential oil.

تباری[12] نیز به طور موافق با نتایج پژوهش بیان کرد که با افزودن سطوح مختلف نانوذرات کربوکسی‌متیل‌سلولز به فیلم نشاسته ساگو، نمودار ایزوترم جذب به محتوای رطوبت پایین‌تر جابه‌جا شد[۲۷]. گالوس و کادزینسکا[13] در بررسی تأثیر روغن هسته انگور بر ایزوترم جذب رطوبت تعادلی فیلم برپایه ایزوله پروتئین آب‌پنیر، به نتایج مشابهی دست یافتند[۲۸].

۳-۲- بررسی فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های بایونانوکامپوزیتی نشاسته کاساوا در مقابل استافیلوکوکوس اورئوس

۳-۲-۱- بررسی اثر ضدمیکروبی فیلم‌های بایونانوکامپوزیتی نشاسته کاساوا توسط روش استاتیک

استافیلوکوکوس اورئوس، یک باکتری بیماری‌زای مهم با دامنه وسیعی از عفونت‌های انسانی و حیوانی است که شامل بیماری‌های غذایی ناشی از تولید توکسین می‌باشد. در بسیاری از کشورها، این باکتری پس از سالمونلا و کلستریدیوم پرفریجنس، به عنوان سومین باکتری از سه باکتری بیماری‌زایی است که موجب شیوع مسمومیت‌ها و عفونت‌های غذایی می‌شود. انسان‌ها و اغلب حیوانات اهلی به عنوان میزبانی برای این باکتری هستند و لذا استافیلوکوک‌ها در اغلب یا تمام محصولات غذایی با منشاء دامی یا آن‌هایی که به طور مستقیم توسط انسان دستکاری می‌شوند، می‌توانند حضور داشته باشند [۱۵].

نتایج حاصل از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد بررسی (غلظت نانوذرات TiO2-N و غلظت اسانس نعناع فلفلی) از لحاظ آماری تأثیر معنی‌داری بر فعالیت ضدباکتریایی فیلم‌های بایوکامپوزیتی برپایه نشاسته کاساوا در مقابل استافیلوکوکوس اورئوس داشتند ($p<0.05$). میانگین مقادیر مساحت سطح بازدارندگی فیلم‌های بایونانوکامپوزیتی حاوی ترکیب سطوح مختلف نانوذرات TiO2-N و اسانس نعناع فلفلی در مقابل باکتری گرم‌مثبت استافیلوکوکوس اورئوس، در نمودار ۲ با یکدیگر مقایسه شده و نشان می‌دهد که فیلم بایوکامپوزیت نشاسته کاساوای شاهد فاقد فعالیت ضدباکتریایی در مقابل استافیلوکوکوس اورئوس بود. با افزودن ترکیب نانوذرات

12. Tabari
13. Galus & Kadzinska

TiO2-N و اسانس نعناع فلفلی و افزایش سطح آن‌ها در فیلم‌های نشاسته‌ای، فعالیت ضدباکتریایی به طور معنی‌داری افزایش یافته و مساحت سطح بازدارندگی در مقابل استافیلوکوکوس اورئوس به طور معنی‌داری افزایش یافت ($p<0.05$). به طوری که بیشترین فعالیت ممانعت‌کنندگی در مقابل این باکتری گرم‌مثبت، در فیلم بایونانوکامپوزیتی حاوی بالاترین سطح نانوذرات TiO2-N و اسانس نعناع فلفلی (۵ درصد نانوذره و ۳ درصد اسانس) مشاهده گردید (mm2 ۱۱۷/۳۹). فعالیت ضدباکتریایی نانوذرات TiO2-N به طور قابل توجهی بیشتر از اسانس نعناع فلفلی بود.

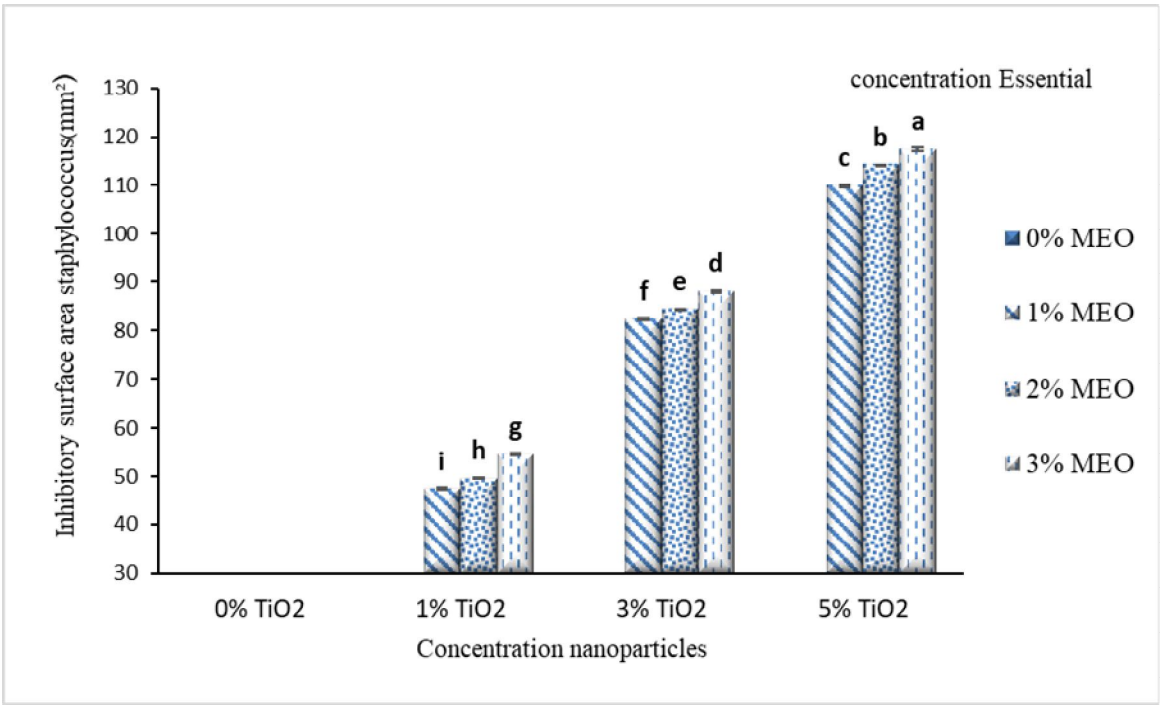

Fig 2 Compare inhibitory surface area values (mm2) biocomposite films(Cassava Starch) in front of staphylococcus aureus.
Different letters on the bars represent significant differences in 5% levels of probability

۳-۲-۲- بررسی فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های بایونانوکامپوزیتی نشاسته کاساوا به روش دینامیک

منحنی رشد میکروبی دارای چهار فاز: تأخیری[14]، مرحله رشد لگاریتمی[15]، مرحله رشد ثابت[16] و فاز مرگ‌ومیر[17] می‌باشد. در مرحله تأخیری، سلول با محیط جدید تطبیق پیدا می‌کند و بر تعداد آن افزوده نمی‌شود. در مرحله لگاریتمی، میکروارگانیسم‌ها مواد غذایی را مصرف کرده و تعدادشان به صورت نمایی یا لگاریتمی افزایش می‌یابد. در مرحله رشد ثابت، میزان تولید با میزان مرگ‌ومیر برابر است و در فاز آخر، تعداد میکروارگانیسم‌ها به سرعت رو به زوال می‌گذارد. به این فاز، فاز خودتخریبی نیز گفته می‌شود. در صورتی که یک ترکیب خاصیت ضدمیکروبی داشته باشد می‌تواند هم فاز تأخیری را به تعویق اندازد و هم میزان حداکثری جمعیت میکروارگانیسم‌ها را در فاز لگاریتمی کاهش دهد. منحنی رشد باکتری استافیلوکوکوس اورئوس در فیلم‌های بایوکامپوزیتی برپایه نشاسته کاساوای حاوی ترکیب سطوح مختلف نانوذرات TiO2-N و اسانس نعناع فلفلی در نمودار ۳ آورده شده و نشان می‌دهد که فعالیت ضدمیکروبی نانوذرات TiO2-N و اسانس نعناع فلفلی در فیلم‌های بایوکامپوزیتی برپایه نشاسته کاساوا، وابسته به غلظت بود، به طوری که با افزایش غلظت نانوذرات و اسانس در فرمولاسیون فیلم‌ها، فعالیت ضدمیکروبی در مقابل باکتری استافیلوکوکوس

14. Lag phase
15. Log phase
16. Stationary phase
17. Death phase

اورئوس به طور قابل توجهی افزایش یافت. تأثیر ضدباکتریایی نانوذرات TiO2-N در مقابل این باکتری گرم‌مثبت بیشتر از اسانس نعناع فلفلی بود.

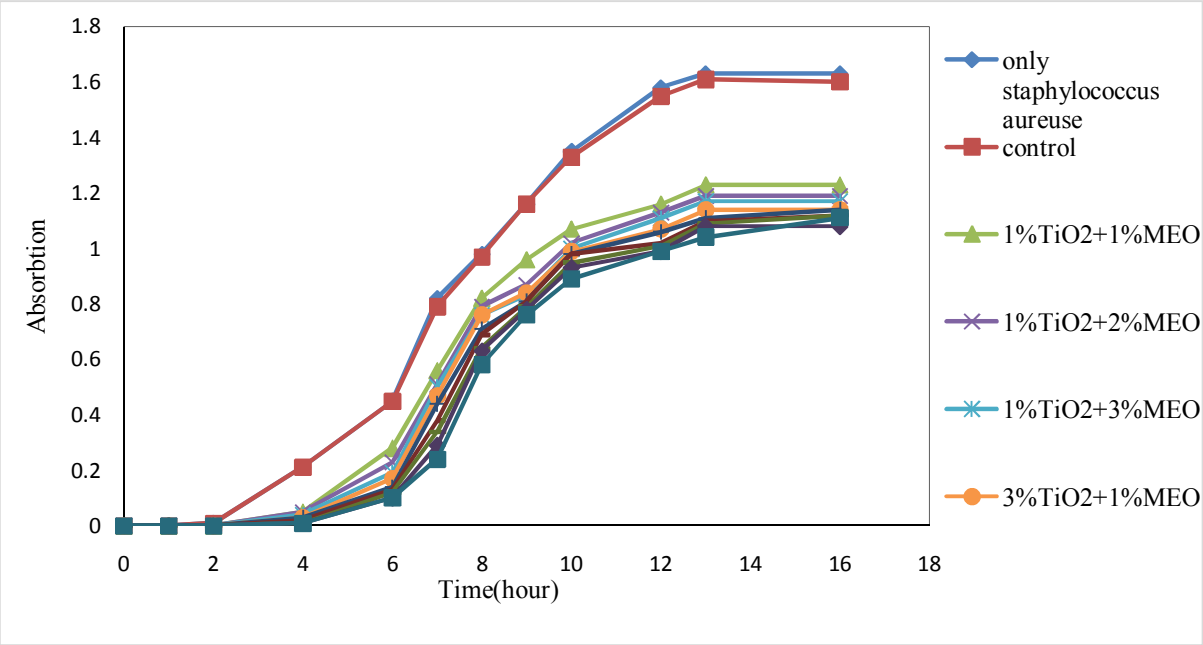

Fig 3 Staphylococcus aureuse microbial growth kinetic in Cassava Starch Films by incorporation different levels of TiO2-N and MEO combination.

فعالیت ضدباکتریایی اکسید تیتانیوم وابسته به تولید گونه‌های اکسیژن فعال، مخصوصاً رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل و پراکسید می‌باشد، که به ترتیب تحت تابش اشعه UV-A از واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء تولید می‌شوند [۲۹]. اثر ضدمیکروبی نانوذرات را به طور کلی در دو بخش بررسی می‌کنند: (۱) تأثیر روی دیواره سلولی و بخش خارجی سلول باکتری و (۲) ورود به سلول و تأثیر بر بخش‌های درونی مختلف سلول باکتری. در قسمت اول، نانوذرات به علت بار الکترونی مثبت، جذب بار منفی سطح خارجی سلول باکتری می‌شوند. این اتصال هم سبب برهم‌زدن تعادل الکترولیتی باکتری شده و هم می‌تواند روی چرخه تنفسی سلول‌های باکتری تأثیرگذار باشد. این نانوذرات می‌توانند روی پمپ‌های شارش[18] تأثیر گذاشته، به دنبال آن حلالیت و سمیت مواد، پتانسیل اکسیداسیون و احیاء یون‌های فلزی، ترکیب و ته‌نشینی فلزات در سلول باکتری دچار شوند [۳۰]. در قسمت دوم اثرگذاری نانوذرات روی پروتئین‌ها و آنزیم‌هایی که نقش اساسی در رشد سلول دارند، DNA باکتری‌ها به علت وجود گروه فسفات به نانوذرات متصل گشته و در نتیجه آن را از حالت انعطاف به حالت سخت تبدیل کرده و چرخش و حرکت DNA را دچار مشکل می‌کنند و در نتیجه عملکردهایی نظیر همانندسازی و رونویسی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. نانوذرات همچنین در داخل سلول موجب ایجاد رادیکال‌های آزاد و اکسیژن فعال می‌شوند، که این مواد اثر ضدمیکروبی دارند [۳۱].

اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهیِ دارای ترکیبات آب‌گریز، می‌توانند با ساختار لیپیدی غشای سلولی باکتریایی، میتوکندری و سایر ترکیبات درون‌سلولی فعل و انفعال انجام داده و موجب تخریب ساختار سلولی، تراوش اجزای سلولی، تبادل یون‌ها، جلوگیری از تنفس، افزایش میزان نفوذپذیری و مرگ سلول باکتریایی گردند [۳۲]. محققین فعالیت ضدباکتریایی اسانس نعناع فلفلی را به علت وجود منتول و کتون‌هایی نظیر پولگون، ایزومنتون، پیپریتون، کاروون و دهیدروکاروون دانستند[۳۳].

18. Efflux

یوآن و همکاران[19] نیز به طور موافق مشاهده کردند که فیلم کیتوزان خالص فاقد فعالیت ضدباکتریایی در مقابل باکتری گرم‌مثبت استافیلوکوکوس اورئوس بود و با تلفیق کارواکرول و عصاره پوست انار، فعالیت ضدباکتریایی در مقابل این باکتری به طور معنی‌داری افزایش یافت، تأثیر کارواکرول بر ممانعت از رشد استافیلوکوکوس اورئوس، به طور معنی‌داری بیشتر از عصاره پوست انار بود[۳٤]. سان و همکاران نیز نشان دادند که با افزایش غلظت پلی‌فنول‌های سیب در فیلم کیتوزان، فعالیت ضدمیکروبی در مقابل باکتری‌ها و کپک‌ها به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد[۳۵]. ایزدی و همکاران[20] ، در بررسی اثر ضدمیکروبی اسانس‌های نعناع فلفلی و مریم‌نخودی بر اشرشیاکلی، استافیلوکوکوس اورئوس، لیستریا مونوسیتوژنز و سالمونلا اینتریتیدیس بیان کردند که اثر ضدباکتریایی اسانس نعناع فلفلی از مریم‌نخودی بیشتر بوده و اثر ضدباکتریایی اسانس نعناع فلفلی بر باکتری گرم‌مثبت استافیلوکوکوس اورئوس بیشترین می‌باشد[۳٦].

۵-نتیجه گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن نانوذرات و اسانس سبب جابجایی نمودارایزوترم جذب تعادلی رطوبت فیلم‌های کاساوا به محتوای رطوبت پایین‌تر می شود. همچنین نتایج آزمون‌های میکروبی نشان داد که فیلم نشاسته کاساوا به تنهایی فاقد فعالیت ضدباکتریایی در برابر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس بود، ولی با افزایش غلظت نانوذرات TiO2-N و اسانس نعناع فلفلی در این فیلم نشاسته‌ای، فعالیت ضدباکتریایی به طور معنی‌داری افزایش یافته و مساحت سطح بازدارندگی به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد، علاوه براین، تلفیق این افزودنی‌ها باعث افزایش فاز تأخیری و کاهش فاز لگاریتمی در منحنی رشد میکروبی گردید. در مجموع، نتایج این تحقیق بیان کرد که با وجود تأثیر بیشتر نانوذرات TiO2-N نسبت به اسانس نعناع فلفلی، هر دو این افزودنی‌ها بر خواص ضدمیکروبی و ایزوترم جذب رطوبت تعادلی فیلم‌های کامپوزیتی برپایه نشاسته کاساوا تأثیر داشتند. پیشنهاد می شود در ادامه این پژوهش کاربرد این فیلمهای بایونانوکامپوزیتی در نگهداری مواد غذایی بررسی گردد.

19. Yuan *et al*.
20. Izadi *et al*.

٦- منابع

[1] Akbariazam, M., Ahmadi, M., Javadian, N. & Mohammadi Nafchi, A. 2016. Fabrication and characterization of soluble soybean polysaccharide and nanorod-rich ZnO bionanocomposite. International Journal of Biological Macromolecules, 89: 369-375.
[2] Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S. & Dalla Rosa, M. 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review. Trends in Food Science and Technology, 19(12): 634-643.
[3] Rhim, J.W. & Ng, P.K.W. 2007. Natural biopolymer-based nanocom-positefilms for packaging applications. Critical Reverse in Food Science and Nutrition, 47: 411-433.
[4] Kalambur, S. & Rizvi, S.S. 2006. An overview of starch-based plastic blends from reactive extrusion. Journal of Plastic Film and Sheeting, 22(1): 39-58.
[5] BeMiller, J. & Whistler, R. 2009. Starch: chemistry and technology. 3th ed. Maryland. Academic Press. P. 894.
[6] Pandey, J.K. & Singh, R.P. 2005. Green nanocomposites from renewable resources: effect of plasticizer on the structure and material properties of clay□filled starch. Starch- Stärke, 57(1): 8-15.
[7] Marvizadeh, M. M., Oladzadabbasabadi, N., Nafchi, A. M. & Jokar, M. 2017. Preparation and characterization of bionanocomposite film based on tapioca starch/bovine gelatin/nanorod zinc oxide. International Journal of Biological Macromolecules, 99: 1-7.
[8] Okamoto, M. 2005. Handbook of biodegradable polymeric materials and their applications. ACS, USA, 1, 1-45.
[9] Nafchi, A.M., Nassiri, R., Sheibani, S., Ariffin, F. & Karim, A.A. 2013. Preparation and characterization of bionanocomposite films filled with nanorod-rich zinc oxide. Carbohydrate Polymers, 96: 233-239.
[10] Nafchi, A. M., & Alias, A. K. 2013. Mechanical, barrier, physicochemical, and heat seal properties of starch films filled with nanoparticles. Journal of Nano Research, 25(1): 90-100
[11] Chun, N. & CMHea, L. 2007. Silver nanoparticles: partial oxidation and antibacterial activities. Biological Inorganic

Chemistry, 12: 527-534.
[12] Arezoo, E., Mohammadreza, E., Maryam, M., & Abdorreza, M. N. 2020. The synergistic effects of cinnamon essential oil and nano TiO2 on antimicrobial and functional properties of sago starch films. International journal of biological macromolecules, 157, 743-751.
[13] STAN, C. Codex General Standard for Food Additives (GSFA). 2008.Online Database available at: http://www. codexalimentarius.net/gsfaonline/index.html. 197-2007.
[14] Hosseini, S. F., Zand, M., Rezaei, M. & Farahmandghavi, F. 2013. Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: Preparation, characterization and in vitro release study. Carbohydrate Polymers, 1: 50-56.
[15] Jafarzadeh, S., Jafari, S. M., Salehabadi, A., Nafchi, A. M., Uthaya, U. S., & Khalil, H. A. 2020. Biodegradable green packaging with antimicrobial functions based on the bioactive compounds from tropical plants and their by-products. Trends in Food Science & Technology. 100: 262-277.
[16] Daneshzadeh, M. S., Abbaspour, H., Amjad, L., & Nafchi, A. M. 2020. An investigation on phytochemical, antioxidant and antibacterial properties of extract from Eryngium billardieri F. Delaroche. Journal of Food Measurement and Characterization, 14: 708–715.
[17] Andoğan, B.C., Baydar, H., Kaya, S., Demirci, M., Özbaşar, D. & Mumcu, E. 2002. Antimicrobial activity and chemical composition of some essential oils. Archives of Pharmacal research, 25(6): 860-864.
[18] Mimica-Dukić, N., Bozin, B., Soković, M., Mihajlović, B. & Matavulj, M. 2003. Antimicrobial and antioxidant activities of three Mentha species essential oils. Planta medica, 69(5): 413-419.
[19] Teymourpour, Sh., Abdorreza, M.N. & Fariborz, N. 2015. Functional, thermal, and antimicrobial properties of soluble soybean polysaccharide biocomposites reinforced by nano TiO2-N. Carbohydrate Polymers, 134: 726-731.
[20] Sánchez-González, L., Cháfer, M., Chiralt, A. & González-Martínez, C. 2010. Physical properties of edible chitosan films containing bergamot essential oil and their inhibitory action on Penicillium italicum. Carbohydrate Polymers, 82: 277-283.
[21] Bertuzzi, M.A., Castro Vidaurre, E.F., Armada, M. & Gottifredi, J.C. 2007. Water vapor permeability of edible starch based films. Journal of Food Engineering, 80(3): 972-978.
[22] Ghazihoseini, S., Alipoormazandarani, N. & Mohammadi Nafchi, A. 2015. The Effects of Nano-SiO2 on Mechanical, Barrier, and Moisture Sorption Isotherm Models of Novel Soluble Soybean Polysaccharide Films. International Journal of Food Engineering, p. 833.
[23] Maizura, M., Fazilah, A., Norziah, M. & Karim, A. 2007. Antibacterial Activity and Mechanical Properties of Partially Hydrolyzed Sago Starch–Alginate Edible Film Containing Lemongrass Oil. Journal of Food Science, 72: C324-C330.
[24] Zwietering, M.H., Jongenburger, I., Rombouts, F.M. & Van't Riet, K. 1990. Modeling of the Bacterial Growth Curve. Applied Environment and Microbiology, 56: 1875-1881.
[25] Zeppa, C., Gouanve, F. & Espuche, E. 2009. Effect of a plasticizer on the structure of biodegradable starch clay nanocomposites: thermal, water sorption, and oxygen barrier properties. Journal of Applied Polymer Science, 112: 2044-2056.
[26] Müller, C. M. O., Laurindo, J. B. & Yamashita, F. 2011. Effect of nanoclay incorporation method on mechanical and water vapor barrier properties of starch-based films. Industrial Crops and Products, 33(3): 605-610.
[27] Tabari, M. 2018. Characterization of a new biodegradable edible film based on Sago Starch loaded with Carboxymethyl Cellulose nanoparticles. Nanomed Research Journal, 3(1): 25-30.
[28] Galus, S. & Kadzinska, J. 2016. Moisture Sensitivity, Optical, Mechanical and Structural Properties of Whey Protein-Based Edible Films Incorporated with Rapeseed Oil. Food Technology & Biotechnology, 54(1): 78-89.
[29] Zhou, J., Wang, S. & Gunasekaran, S. 2009. Preparation and characterization of whey protein film incorporated with TiO2-N

nanoparticles. Journal of Food Science, 74(7): N50-N6.
[30] Mirzajani, F., Aliahmadi, A. & Esmaeili, M.S.J. 2011. Antibacterial effect of silver nanoparticles on Staphylococcus aureus. Research in Microbiology, 162: 542-549.
[31] Panyala, N.M., Penamendez, E. & Havel, M.J. 2008. Silver or nanoparticles:A hazardous threat to environment and human health? Journal Applied Biomedical, 6: 117-122.
[32] Kabir, F., Katayama, S., Tanji, N. & Nakamura, S. 2014. Antimicrobial effects of chlorogenic acid and related compounds. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 57: 359-365.
[33] Sivropoulou, A., Kokkini, S., Lanaras, T., Arsenakis, M., Papaniko laou, E. & Nikolaou, C. 1996. Antimicrobial and cytotixic activities of Origanum essential oil concentration. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 44: l202-1205.
[34] Yuan, Z., Lv, H., Yang, B., Chen, X. & Sun, H. 2015. Physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of chitosan films containing carvacrol and pomegranate peel extract. Molecules, 20: 11034-11045.
[35] Sun, L., Sun, J., Chen, L., Niu, P., Yang, X. & Guo, Y. 2017. Preparation and characterization of chitosan film incorporated with thinned young apple polyphenols as an active packaging material. Carbohydrate Polymers, 1-34.
[36] Izadi, Z., Ahmadvand, G., Esna-Ashari, M., Piri, K. & Davoodi, P. 2010. Biochemical and Antimicrobial Activities of Salvia Officinalis L. and Mentha Piperita L. Essential oils. Armaghane danesh, 15(1): 19-29.

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Antimicrobial Properties and Moisture Sorption Isotherm of Bionanocomposite Based on Cassava Starch/Nano Titanium Dioxide/Peppermint Essential Oil

Noorian, S. [1], Mohammadi Nafchi, A. [2]*, Bolandi, M. [3], Jokar, M. [4]

1. Postgraduate student, Food Science & Technology Department, Islamic Azad University, Damghan Branch, Damghan, Iran
2. Associate Professor, Food Technology Division, School of Industrial Technology, Universiti Sains, Penang, Malaysia
3. Associate Professor, Food Science & Technology Department, Islamic Azad University, Damghan Branch, Damghan, Iran
4. Assistant Professor, National Food Institute, Technical University of Denmark, Denmark

ARTICIE INFO

Article History:

Received 17 October 2020
Accepted 17 November 2020

Keywords:

Bionanocomposite,
Cassava starch,
TiO2-N nanoparticles,
Peppermint.

DOI: 10.52547/fsct.18.02.17

*Corresponding Author E-Mail: amohammadi@usm.my

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the synergistic effect of nano titanium dioxide (TiO2-N) and *Mentha piperita* essential oil (MEO) on the equilibrum moisture sorption isotherm and microbial growth rate of *Staphylococcus aureus* of cassava starch film. For this purpose, cassava starch biocomposite film with the addition of 1, 3 and 5% TiO2-N and 1, 2 and 3% MEO, and glycerol as a plasticizer were obtained by the casting method. The equilibrium moisture absorption isotherm and antibacterial activity of prepared nanobiocomposite films against Staphylococcus aureus were examined. The obtained results demonstrated that by addition of nanoparticles and essential oil to the starch biocomposites, the equilibrium moisture absorption isotherm curve was shifted to lower moisture content. The microbial tests stated that the pure cassava starch film (control) showed no antibacterial activity against the *Staphylococcus aureus* and the antibacterial activity significantly increased with increasing concentration of both TiO2-N and MEO in the starch films ($p<0.05$). However, the antibacterial activity of TiO2-N nanoparticles was higher than MEO. Addition of TiO2-N and MEO increased lag phase and decreased log phase in microbial growth curve. Finally, according to the obtained results in this study, it can be concluded that incorporation of TiO2-N and MEO combination improved the antibacterial activity of cassava starch biocomposites against *Staphylococcus aureus* and these bionanocomposite films can be used for packaging and extending the shelf life of food products.