

(مقاله پژوهشی)

مدل سازی نرخ تنفس پرتقال حاوی پوشش اسانس آویشن شیرازی به منظور طراحی سیستم بسته بندی اتمفسر اصلاح شده

غلامحسین حقایق^{۱*}، نفیسه زاوه زاد^۲

۱-استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲-کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵

چکیده

در این پژوهش اثر دما (۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد)، غلظت گاز اکسیژن و اسانس آویشن شیرازی (در سه غلظت ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی پی ام) بر نرخ تنفس پرتقال رقم والنسیا جهت طراحی سیستم بسته بندی اتمفسر اصلاح شده بررسی شد. مدل سازی وابستگی نرخ تنفس با استفاده از مدل میکائیل- منتن انجام شد. نتایج حاصله نشان دهنده کارآمدی مدل در تخمین نرخ تنفس در زمان نگهداری با تغییر غلظت گازهای اتمفسری بود. همچنین مدل سازی وابستگی نرخ تنفس به دمای نگهداری بر مبنای معادله آرنوس انجام شد. نتایج نشان می دهد با افزایش دمای نگهداری، زمان رسیدن به حالت تعادلی گازهای بسته بندی کاهش پیدا کرد. از سوی دیگر پارامتر K_{m, O_2} در معادله میکائیل- منتن با افزایش دما به صورت خطی افزایش و $R_{O_2}^{max}$ با رفتاری نمایی تغییر نمود. این در حالی است که افزایش سطح اسانس موجب کاهش هر دو پارامتر $R_{O_2}^{max}$ و K_{m, O_2} شد. انرژی فعال سازی بر مبنای پارامتر $R_{O_2}^{max}$ در غیاب اسانس معادل ۵۳/۱۲ کیلو ژول بر مول و K_{m, O_2} معادل ۲۱/۵۸ بود و مقادیر ذکر شده در حضور اسانس به ترتیب به ۵۵/۶۱ کیلو ژول بر مول و ۲۲/۴۱ افزایش پیدا کرد.

واژه های کلیدی: پرتقال رقم والنسیا، معادله میکائیل- منتن، مدل سازی طراحی MAP، اسانس آویشن شیرازی.

۱-مقدمه

مؤثر است، بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح شده^۱ است که به اختصار MAP نامیده می‌شود. بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح شده یک تکنیک خاص نگهداری است که باعث به حداقل رساندن فعالیت های فیزیولوژیکی ناشی از تنفس و در نتیجه فساد ناشی از آن در محصولات کشاورزی می‌شود. در سالیان اخیر، کاربرد بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده برای افزایش ماندگاری بسیاری از میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده شده است (۱۹، ۲۲، ۲۶ و ۳۸). از سوی دیگر موفقیت کاربرد روش MAP در افزایش عمر نگهداری یک ماده غذایی وابسته به شناخت خصوصیات تنفس میوه و تغییرات گازهای اتمسفر نگهداری است. شبیه‌سازی فرآیند تنفس در سیستم بسته‌بندی مناسب‌ترین روش در جهت شناخت از خصوصیات تغییرات گازی اتمسفر نگهداری میوه است که منجر به طراحی صحیح می‌گردد. از سوی دیگر، کارآمدی سیستم MAP نیازمند مدلی است که تابعیت نرخ تنفس محصول با دما و غلظت گازی را پیش‌بینی کند. در میان مدل‌های ارائه شده در مقالات، مدل میکائیل-متن بر مبنای سنتیک آیزیمی به صورت گسترده‌ای برای بیان تابعیت نرخ تنفس با غلظت‌های گازی استفاده شده است. اثر دما روی نرخ تنفس (وابستگی پارامترهای معادله که بیان‌کننده وابستگی نرخ تنفس به غلظت گازی اتمسفر بسته‌بندی است) با استفاده از معادله آرینوس به صورت معمول مدل‌سازی می‌شود (۳۷). اسانس‌ها یکی از مهم‌ترین مواد مؤثره گیاهی بوده که جزء معطر بسیاری از گیاهان دارویی را تشکیل می‌دهند (۲) و شامل گروه‌های مختلفی از ساختار-های شیمیایی شامل ترپن‌ها، فنل‌ها، آلدئید، کتون و غیره می‌شود (۱۴). این ترکیبات، با دارا بودن خصوصیات ضد میکروبی به عنوان عامل طبیعی کنترل‌کننده فساد ناشی از فعالیت‌های میکروارگانیسم‌ها دارای پتانسیل کاربردی مناسبی به عنوان جایگزین ترکیبات شیمیایی سنتزی است (۸، ۲۷ و ۲۸). علاوه بر عوامل درونی نظیر خصوصیات ذاتی محصول (تنفس و تغییر در ترکیب گازی اتمسفر محیط)، عوامل بیرونی و کنترل‌نشده نظیر حضور

مرکبات جایگاه بسیار مهمی در میان تولیدات کشاورزی دنیا به خود اختصاص داده است. یکی از گونه‌های مرکبات که از نظر اقتصادی و صنعتی اهمیت دارد، پرتقال است. پرتقال به عنوان محصولی استراتژیک در نواحی شمالی و برخی از نواحی جنوب ایران به صورت گسترده کشت می‌گردد. بر مبنای آمار منتشره، ایران با تولید بیش از یک میلیون پانصد هزار تن پرتقال در سال در میان بزرگترین تولید کنندگان این محصول در دنیا قرار دارد (۳۳). با در نظر گرفتن حجم گسترده تولید، کاهش ضایعات در این محصول موجب ایجاد ارزش افزوده قابل توجه‌ای می‌شود. امروزه با در نظر گرفتن مسئله امنیت غذایی و افزایش بهره‌وری، روش‌های افزایش ماندگاری مواد غذایی به صورت روز افزونی توجه بسیاری را به سمت خود جلب کرده است. تولیدات مربوط به حوزه محصولات کشاورزی (میوه و سبزی) با توجه به زمان ماندگاری کوتاه و در نتیجه اتلاف بالای آن، سالانه موجب هدر رفت بخش اعظمی از منابع مالی و تغذیه‌ای در جهان شده است. از این رو، کاهش ضایعات در بخش کشاورزی به عنوان یکی از اهداف رسیدن به توسعه پایدار مد نظر سازمان خواروبار جهانی (فائو) قرار دارد. در زنجیره تولید و توزیع محصولات کشاورزی، بیشترین ضایعات در سطح خرده فروشی‌ها رخ می‌دهد. بر مبنای بند سوم اهداف آرمان دوازدهم توسعه پایدار منتشر شده توسط سازمان ملل متحد، تا سال ۲۰۳۰ سرانه ضایعات محصولات کشاورزی در سطح خرده فروشی باید نصف شود (۲۱). از این رو توسعه سیستم‌های مبتنی بر افزایش پایداری و کاهش هدر رفت مد نظر قرار گرفته است. امروزه روش‌های مختلفی برای افزایش ماندگاری میوه و سبزی‌ها به منظور کاهش اتلاف طی دوره نگهداری مورد توجه است (۱۱، ۱۳، ۲۰ و ۳۶). در میان روش‌های مورد استفاده، سیستم‌های مبتنی بر بسته‌بندی با توجه به سهولت اجرا و همچنین در دسترس بودن مواد اولیه از جنبه کاربردی حائز اهمیت است (۳۷). یکی از روش‌های بسته‌بندی که در افزایش عمر ماندگاری محصول به شدت

رو برآینم تا با مدل‌سازی نرخ تنفس میوه و روشن نمودن ابعاد تغییرات ایجاد شده بر ماندگاری محصول درک روشنی از آنچه که در دوره نگهداری رخ می‌دهد بیان گردد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

پرتقال رقم والنسیا (*vc. Valencia Citrus Sinensis*) از باغات مرکبات جیرفت و گیاه آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*) از مراکز معتبر پخش گیاهان دارویی تهیه شد. سایر مواد مورد نیاز نظیر کیسه‌های سه لایه (PE/PA/PE) با ضخامت ۸۰ میکرون، دانسیته ۰/۹۴ گرم بر سانتی متر مکعب و سطح ۲۰ در ۲۰ سانتی متر از شرکت‌های معتبر خریداری گردید.

۲-۲- روش‌ها

۲-۱-۲- آماده‌سازی میوه

پرتقال رقم والنسیا در اندازه‌های یکسان تهیه گردید. نمونه‌هایی که دارای آسیب فیزیکی و یا آلودگی قارچی بودند جدا شده و نمونه‌های سالم به آزمایشگاه منتقل شد. سپس نمونه‌ها با آب شستشو داده شدند و به مدت ۵ دقیقه در دی اکسید کلر (ClO_2) ۰/۵ درصد جهت ضد عفونی قرار گرفتند. نمونه‌ها پس از شستشوی دوباره در جریان هوای ملایم خشک و سپس همان روز پوشش‌دهی و بسته‌بندی شدند.

۲-۲-۲- تهیه محلول جهت پوشش‌دهی

محلول آبی مورد استفاده که شامل ۰/۵ درصد (وزنی-وزنی) توئین ۸۰ درصد و اسانس آویشن شیرازی با غلظت ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام بود، به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد روی هیتر شیکر (IKA-RCT basic) با سرعت ۱۲۰۰ دور بر دقیقه هم زده شد تا به حالت کاملاً یکنواخت رسید (۶). لازم به ذکر است تهیه اسانس از تقطیر با بخار و دستگاه کلونجر استفاده شد. مختصراً، پس از پودر کردن گیاه با نسبت مناسبی از آب در بالن ژوژه مخلوط گردید و پس از اتصال بالن به دستگاه و

میکروارگانیزم‌های عامل فساد بر روی محصول و فضای نگهداری بر ماندگاری محصول اثرگذار است. همچنین، هرگونه فساد ناشی از صدمات ناشی از فعالیت میکروارگانیزم‌ها موجب تأثیر بر نرخ تنفس محصول و تغییر در شرایط ماندگاری می‌شود. پتانسیل قابل توجه اسانس‌های گیاهی در کنترل فساد میکروبی را علاوه بر ترکیبات مؤثره آن می‌توان در نتیجه خصوصیات آب‌گریزی و بهبود شرایط قرارگیری روی سطح با پوشش‌دهندگی و نفوذ ترکیبات درون پوسته میوه نسبت داد (۳۱). با در نظر گرفتن خصوصیات مطلوب بسته‌بندی اتمفسر اصلاح شده و تأثیر اسانس‌های گیاهی بر کاهش صدمات ناشی از فعالیت‌های میکروارگانیزم‌های مولد فساد، استفاده توأم از آن‌ها موجب بهبود شرایط ماندگاری در محصول می‌شود. تحقیقات صورت گرفته در این خصوص مبین کارآمدی استفاده همزمان این دو روش در بهبود شرایط ماندگاری است (۱۰، ۱۸ و ۳۲). در مطالعه صورت گرفته توسط سوینرو و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر استفاده همزمان اسانس گیاهی و اتمفسر اصلاح شده در کاهش رشد اشرشیا کلی و سالمونلا تلقیح شده بر روی نخود سبز بررسی شد. نتایج این مطالعه به وضوح نشان داد استفاده توأم اسانس گیاهی و بسته‌بندی اتمفسر اصلاح شده باعث ظهور اثر هم‌افزایی در کنترل رشد میکروارگانیزم‌های فوق‌الذکر شد (۳۰). با در نظر گرفتن تأثیر اسانس‌های گیاهی و روش بسته‌بندی با استفاده از اتمفسر اصلاح شده بر بهبود ماندگاری محصولات کشاورزی، هدف از پژوهش پیش رو بررسی تأثیر اسانس آویشن شیرازی بر تغییر نرخ تنفس پرتقال رقم والنسیا و مدل‌سازی نرخ تنفس میوه جهت طراحی سیستم بسته‌بندی MAP بود. از سوی دیگر و با توجه به تحقیقات صورت گرفته، ارزیابی تأثیر پوشش اسانس همراه با اصلاح اتمفسر تنها از بعد تکنولوژیکی و با در نظر گرفتن شرایط ماندگاری مورد بررسی قرار گرفته بود و اطلاعاتی در خصوص تأثیر گذاری عوامل مورد بررسی بر روند تغییرات درونی میوه بیان نگردیده است. از این رو در تحقیق پیش

غلظت‌های گازی (درصد) در زمان اولیه t_i (ساعت)، y_{O_2} و y_{CO_2} غلظت‌های گازی (درصد) در لحظه t (ساعت)، W وزن محصول (گرم) و V_f حجم آزاد درون بسته (میلی‌لیتر) است که با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

رابطه ۳

$$V_f = V \times \frac{W}{\rho}$$

در این رابطه V حجم بسته (میلی‌لیتر)، وزن محصول (گرم) و ρ دانسیته محصول (سانتی متر مکعب/گرم) است. همچنین کسر تنفسی (RQ) که به عنوان شناساگر انتقال تنفس از حالت هوازی به بی‌هوازی عمل می‌کند (تنفس هوازی بین ۰/۷ تا ۱/۳ می‌باشد) به صورت زیر (رابطه ۴) تعیین گردید.

رابطه ۴

$$RQ = \frac{R_{CO_2}}{R_{O_2}}$$

برای مدل‌سازی اثر غلظت‌های گازی روی نرخ تنفس از رابطه میکائیلز-متن (رابطه ۵ و ۶) استفاده شد (۷، ۱۷ و ۲۴).

رابطه ۵

$$R_{O_2} = \frac{R_{O_2}^{max} P_{O_2}}{K_{m,O_2} + P_{O_2}}$$

رابطه ۶

$$R_{CO_2} = RQ \times R_{O_2}$$

در این رابطه V_m ماکزیمم مقدار نرخ تنفس (کیلوگرم×ساعت/میلی لیتر اکسیژن)، K_m غلظتی از گاز O_2 که در آن غلظت نرخ تنفس نصف مقدار ماکزیمم خود است (درصد)، K_c غلظتی از گاز CO_2 که در آن نرخ تولید گاز O_2 را به اندازه ۵۰ درصد محدود می‌کند، هستند. با برازش کردن این مدل روی داده‌های نمودار $RQ-O_2$ با استفاده از نرم‌افزار MATLAB، ثابت‌های معادله میکائیلز-متن V_m ، K_m و K_c بدست می‌آیند. جهت بررسی درصد خطای مدل‌سازی از پارامتر مدول انحراف میانگین نسبی (E) برحسب درصد و رابطه ۷ استفاده گردید.

اعمال حرارت اسانس گیری مبتنی بر تقطیر با بخار آب صورت گرفت. بخار آب حاوی اسانس با عبور از مبرد دستگاه خنک و اسانس جداسازی شد. لازم به ذکر است جداسازی اسانس مبتنی بر اختلاف دانسیته آن با آب است.

۲-۳-۳- پوشش‌دهی سطح میوه

بدین منظور ابتدا نمونه‌ها در محلول اسانس آویشن شیرازی با غلظت صفر، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام به مدت ۲ دقیقه به روش غوطه‌وری قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها به مدت نیم ساعت در دمای آزمایشگاه (حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد) که عاری از هر گونه آلودگی بود با جریان هوا خشک شدند (۱). جهت بسته‌بندی از کیسه‌های سه لایه (PE/PA/PE) با ضخامت ۸۰ میکرون و دستگاه مپ هنکلن (مدل 200A) ساخت کشور هلند استفاده شد. در نهایت نمونه‌ها در شرایط مختلف دمایی ۴، ۱۰ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

۲-۲-۴- مدل‌سازی تابعیت دما و غلظت گاز اتمفسر

نگهداری بر نرخ تنفس میوه

بهینه‌سازی و طراحی بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده به روش توریوری و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد (۳۴). ترکیب گاز بالاسری برحسب درصد به صورت روزانه تا رسیدن به حالت تعادل گازی، با استفاده از دستگاه گازسنج^۱ Oxybaby (ساخت کمپانی WITT، آلمان) اندازه‌گیری و با به دست آوردن غلظت گازهای O_2 و CO_2 نرخ تنفس پرتقال با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید.

رابطه ۱

$$R_{O_2} = \frac{10(y_{O_2i} - y_{O_2})}{t - t_i} \times \frac{V_f}{W}$$

رابطه ۲

$$R_{CO_2} = \frac{10(y_{CO_2i} - y_{CO_2})}{t - t_i} \times \frac{V_f}{W}$$

در این روابط R_{O_2} نرخ مصرف گاز O_2 (کیلوگرم×ساعت/میلی لیتر اکسیژن)، R_{CO_2} نرخ تولید گاز CO_2 (کیلوگرم×ساعت/میلی لیتر اکسیژن)، y_{O_2i} و y_{CO_2i}

به طور کلی هرچه مقدار این پارامتر کمتر باشد، نشان‌دهنده تطابق بیشتر داده‌های آزمایشگاهی و مدل‌سازی شده است.

رابطه ۷

$$E = \frac{100}{N} \sum_I^N \frac{|R_{exp} - R_{pre}|}{R_{exp}}$$

E مدول انحراف میانگین نسبی (درصد)، N تعداد داده‌ها، R_{exp} نرخ تنفس محاسبه شده با استفاده از داده‌های آزمایشی و R_{pre} نرخ تنفس پیش‌بینی شده از طریق معادله میکائیلز-منتن است. پرکاربردترین معادله جهت مدل‌سازی وابستگی دمایی نرخ تنفس معادله آرنیوس است که از رابطه ۸ محاسبه می‌گردد (۲۹).

رابطه ۸

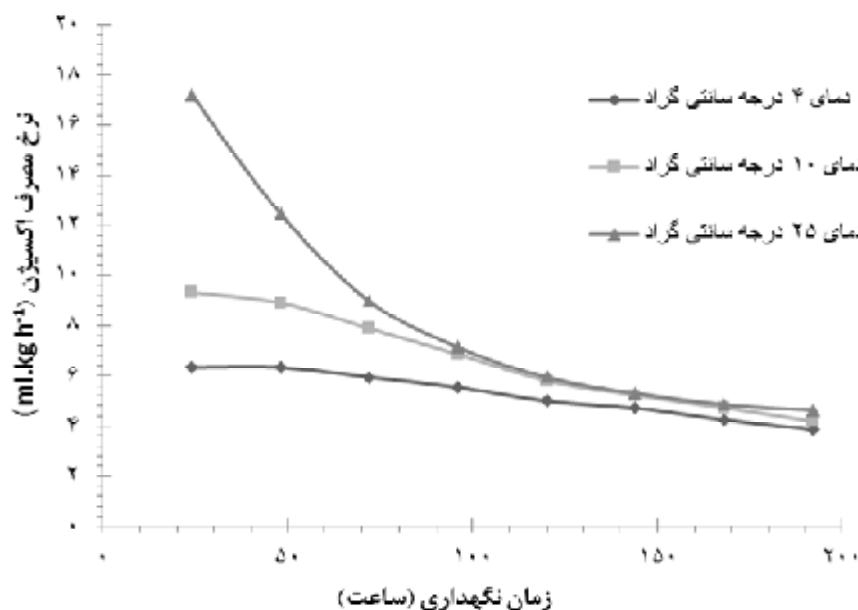
$$R_{O_2, CO_2} = R_{ref} \left(\frac{E_a}{R} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right] \right)$$

R_{O_2, CO_2} نرخ تنفس، T دما، R_{ref} نرخ تنفس در دمای مرجع (T_{ref})، E_a انرژی اکتیواسیون و R ثابت جهانی گازها هستند. مقدار E_a بین ۲۹/۰ - ۹۲/۹ مول/کیلوژول برای اکثر میوه‌ها و سبزی‌ها در هواست (۱۵).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- وابستگی نرخ تنفس به زمان و دمای نگهداری

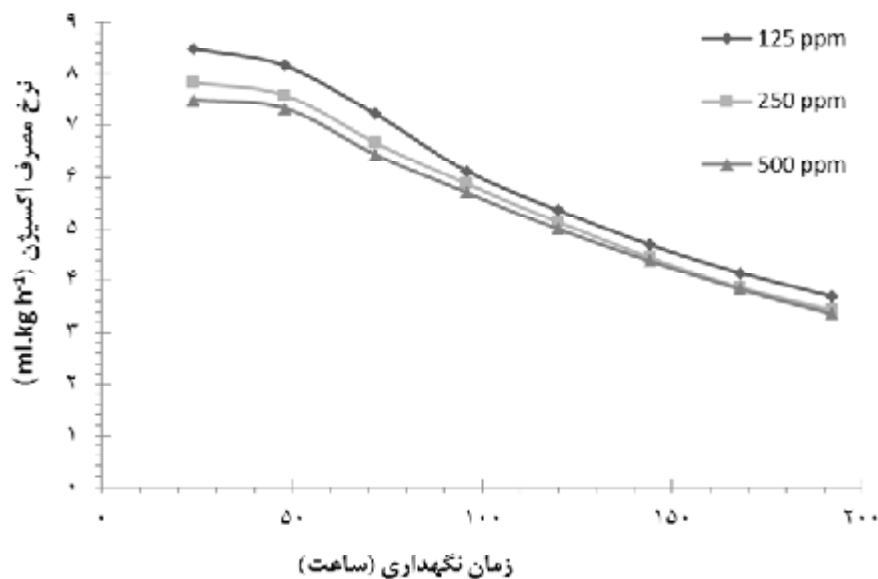
مطالعه روند تغییرات گازهای اتمفسر میوه مهم ترین پارامتر برای رسیدن به شناخت از شرایط تنفس میوه تحت دمای نگهداری است. به صورت یک قاعده کلی، با افزایش زمان نگهداری، میزان گاز اکسیژن و دی اکسید کربن درون بسته‌بندی به دلیل روند تنفس میوه به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. این روند (مصرف اکسیژن و تولید دی اکسید کربن) پس از عبور از حد بحرانی غلظت گازی، وارد محدوده بی‌هوازی با ایجاد اثرات مخرب می‌شود. نسبت بین نرخ تولید دی اکسید کربن و مصرف اکسیژن به عنوان شاخص تغییر روند تنفس هوازی به بی‌هوازی به صورت معمول بین ۰/۷ تا ۱/۳ است (۵). شکل ۱ نشان‌دهنده روند تغییرات تنفس پرتقال رقم والنسیا با افزایش زمان نگهداری در دماهای مورد بررسی است. نتایج بیانگر وابستگی شدت تنفس به دمای نگهداری است. بدین معنا که افزایش دما موجب تشدید روند تنفس در میوه می‌شود. نرخ تنفس در دمای ۲۵، ۱۰ و ۴ درجه سانتی‌گراد معادل با ۱۷/۱، ۹ و ۶ کیلوگرم×ساعت/میلی‌لیتر اکسیژن بود که در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به رسیدن از این می‌توان گفت که تغییرات دما از ۴ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش ۳ برابری نرخ تنفس شد.



شکل ۱- تغییرات نرخ تنفس میوه پرتقال رقم والنسیا به زمان تحت تأثیر دمای نگهداری.

تغییرات نرخ تنفس با دمای نگهداری پرتقال در پژوهش حاضر است. زیرا همانطور که نتایج نشان می‌دهد با افزایش دما به ۲۵ درجه سانتی‌گراد نرخ تنفس میوه به شدت افزایش یافت و موجب اثرات مخرب بر ماندگاری میوه شد. شکل ۲ نیز نشان‌دهنده تأثیر افزودن اسانس آویشن شیرازی (در سطوح ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام) بر تغییرات نرخ تنفس میوه پرتقال رقم والنسیا در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش اسانس بر نرخ تنفس اثرگذار بود. به طوری که با کاربرد ۵۰۰ پی‌پی‌ام، نرخ تنفس پرتقال (در دمای ۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به نمونه بدون اسانس (با افزایش زمان نگهداری) به ترتیب حدود ۱۲، ۸ و ۴ درصد کاهش یافت. تغییرات نرخ تنفس با تابعیت به دمای نگهداری و حضور اسانس نشان‌دهنده تأثیرگذاری بالاتر حضور اسانس با کاهش دما است.

نتایج این تحقیق با نتایج مطالعه الحسن و همکاران (۲۰۱۹) که بررسی روند تغییر نرخ تنفس در پرتقال رقم ناول و نارنگی رقم آفورر پرداختند، مشابهت دارد. این محققان گزارش کردند با توجه به وابستگی نرخ تنفس میوه به دمای نگهداری می‌توان با کاهش دما (تحت شرایط بهینه سایر عوامل خارجی)، میزان ماندگاری مرکبات را به صورت چشمگیری افزایش داد (۵). کائو و همکاران (۲۰۱۹) نیز براساس تحقیق خود در زمینه پرتقال رقم پانکون دریافتند که دمای ۵ درجه سانتی‌گراد مطلوب‌ترین دمای نگهداری پرتقال جهت افزایش ماندگاری و انتقال به بازار مصرف است. از سوی دیگر بر مبنای یافته‌های حاصل از این پژوهش گزارش شد دمای بیش از ۱۵ درجه سانتی‌گراد موجب کاهش ماندگاری میوه با افزایش زمان انبارمانی شد (۹). نتایج منتشر شده از این مطالعه دارای مشابهت با



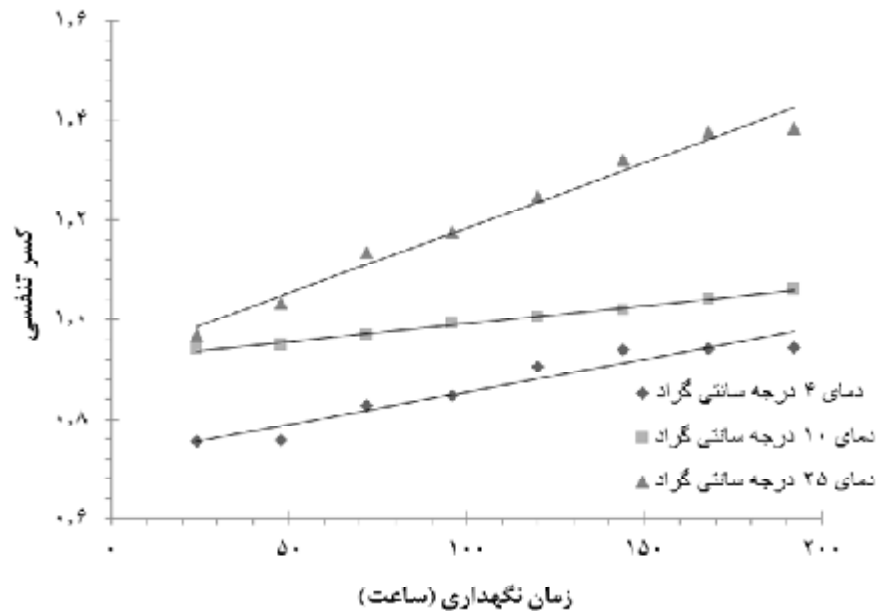
شکل ۲- تغییرات نرخ تنفس میوه پرتقال رقم والنسیا به زمان تحت تأثیر دمای نگهداری (۱۰ درجه سانتی‌گراد) و غلظت‌های متفاوت اسانس آویشن شیرازی.

اتصال و در نتیجه کاهش اثر محافظتی بر سطح میوه می‌شود. در زمینه افزایش عمر انبارمانی میوه تحت تأثیر افزودن اسانس‌های گیاهی تحقیقات بسیاری انجام شده است. در این راستا اقدام و همکاران (۲۰۱۶) و جنتی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند افزودن اسانس آویشن‌باغی و

پتانسیل کارایی اسانس علاوه بر تأثیرات ترکیبات آروماتیک نظیر فنول‌ها، آلدئیدها، ترپن‌ها و غیره با ایجاد برهم‌کنش آب‌گیری با سطح میوه موجب ایجاد پوشش و تأثیرگذاری بر نرخ تنفس است (۳۱). از این رو افزایش دما با تخلیه انرژی پیوندهای آبگریز سطحی موجب تضعیف

ریحان با کاهش نرخ تنفس سبب افزایش عمر انبارمانی میوه شدند (۳ و ۱۶). همچنین نتایج مشابهی در خصوص پرتقال و انگور گزارش گردیده است (۱۶ و ۲۵). به صورت کلی رابطه‌ای عکس میان میزان ماندگاری و نرخ تنفس در میوه وجود دارد. از این رو افزودن اسانس با تأثیرگذاری بر نرخ تنفس میوه موجب افزایش ماندگاری در دوره نگهداری می‌شود. کسر تنفسی به عنوان شاخص تغییر روند تنفس هوازی به سمت بی‌هوازی شناخته می‌شود. این پارامتر به عنوان نسبت تغییرات گاز دی‌اکسید کربن به اکسیژن شناخته می‌شود و نشان دهنده روند تغییرات اتمفسر گازی محیط پیرامون میوه در دوره نگهداری است. شکل ۳ تغییرات کسر تنفسی میوه پرتقال رقم والنسیا در زمان را تحت شرایط دمایی نگهداری نشان می‌دهد. بر مبنای تغییر کسر تنفسی در شرایط دمایی مختلف مشخص شد تنفس

میوه در دمای ۴ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در تمامی زمان‌های بررسی شده در محدوده کسر تنفسی هوازی بود. روند تغییرات داده‌ها در این دو دما (۴ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد) دارای مشابهت (تغییر با شیبی ملایم) بود. از سوی دیگر نتایج نشان می‌دهد تغییرات کسر تنفسی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد دارای شیب افزایشی بود. همچنین پس از گذشت زمان تقریبی ۱۲۰ ساعت، روند تنفس میوه (در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) از حالت هوازی به سمت بی‌هوازی سوق پیدا نمود. براساس مشاهدات صورت گرفته می‌توان بیان نمود که پارامتر کسر تنفسی به عنوان تابعی از دما و زمان نگهداری است. نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران در مورد میوه گویا (۳۴) و کاهوی رقم آیس برگ (۱۲) گزارش گردیده است.



شکل ۳- تغییرات کسر تنفسی میوه پرتقال رقم والنسیا تحت تأثیر زمان و دمای نگهداری.

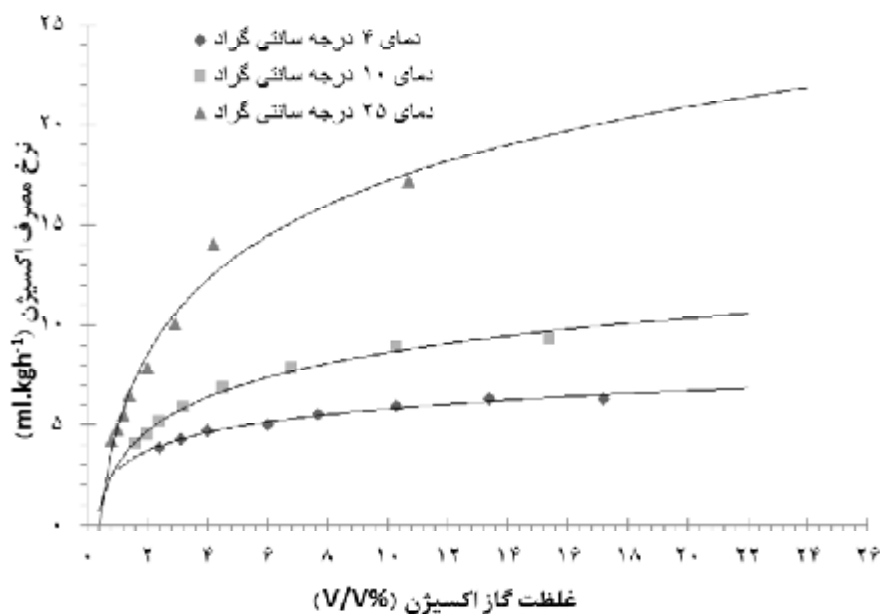
۳-۲- مدل سازی نرخ تنفس پرتقال رقم والنسیا با استفاده از معادله میکائیل-متن

شکل ۴ نشان‌دهنده وابستگی نرخ تنفس به تغییرات گاز اکسیژن در بازه زمانی و دمای متفاوت نگهداری (۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) است. همانطور که مشاهده می‌شود،

میزان تنفس میوه با کاهش دمای نگهداری و غلظت گاز اکسیژن، کاهش پیدا نمود. خطوط ممتد در شکل ۴ نشان‌دهنده نرخ تنفس تخمین زده شده با استفاده از مدل میکائیل-متن است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد داده‌های تجربی تطابق‌پذیری مناسبی با مدل برازش شده دارد. از

وابستگی بالای نرخ تنفس و میزان گاز اکسیژن داخل بسته بندی است. این مورد با تغییر گاز اکسیژن و نرخ تنفس بالاتر میوه قابل برداشت است.

طرف دیگر همان طور که بیان شد، افزایش دما بر میزان نرخ تنفس میوه تأثیر گذارست. تغییرات میزان گاز اکسیژن درون بسته بندی و نرخ تنفس با دمای نگهداری نشان دهنده



شکل ۴- رابطه میزان کاهش درصد اکسیژن و نرخ تنفس میوه پرتقال رقم والنسیا با درجه حرارت نگهداری، داده های آزمایشگاهی (نقاط) و مقادیر پیش بینی شده (خطوط) با استفاده از معادله میکائیل - متن

سطح بالایی درون بسته بندی کاهش پیدا می کند. کاهش در میزان اکسیژن با افزایش سطح گاز دی اکسید کربن همراه است که موجب تأثیر گذاری بر نرخ تنفس می شود. تجمع گاز دی اکسید کربن و نفوذ پذیری آن داخل بافت میوه موجب تغییر در سطح گازی اتمفسر نگهداری می شود. از این رو و با توجه به تغییرات شدید در فضای گاز اتمفسر نگهداری و همچنین افزایش نفوذ پذیری بسته بندی با افزایش دما، میزان نرخ تنفس در دماهای بالاتر با سطح خطای بیشتری توسط مدل تخمین زده شده است.

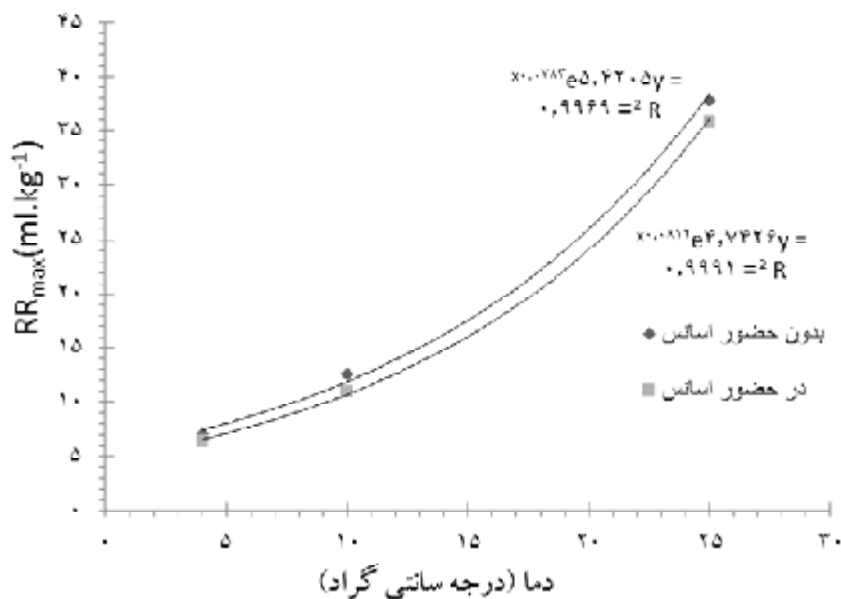
از سوی دیگر با در نظر گرفتن پارامتر مدول خطای محاسبه شده (جدول ۱) مشاهده می گردد که رابطه ای افزایشی میان این پارامتر و دما وجود دارد. به بیان دیگر داده های پیش بینی شده توسط مدل در دماهای بالاتر میزان خطای بیشتری را نشان می دهند. دلیل این افزایش در مدول خطای پیش بینی در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد نسبت به دو دمای دیگر (۴ و ۱۰) درجه سانتی گراد) را می توان به رابطه نرخ تنفس و دمای نگهداری نسبت داد. زیرا افزایش دما به صورت مشهودی بر نرخ تنفس اثر گذارست. از این رو، بعد از طی شدن مدت زمان کوتاه تری، میزان گاز اکسیژن موجود در

جدول ۱- پارامترهای پیش بینی شده و مدول خطا محاسبه شده با استفاده از معادله میکائیل - متن در درجه حرارت های نگهداری میوه پرتقال رقم والنسیا.

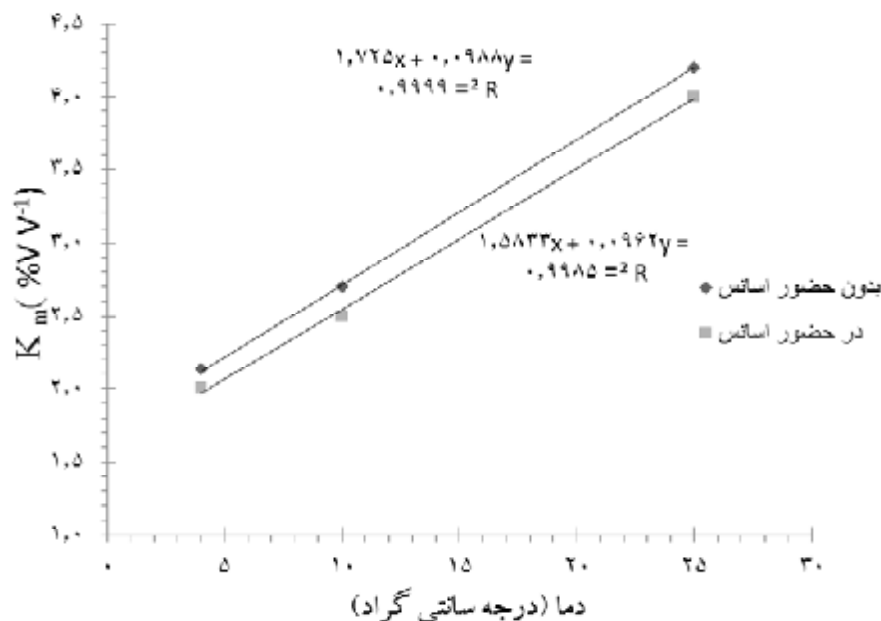
دما (درجه سانتی گراد)	$R_{O_2}^{max T}$	K_{m, O_2}	%E
۴	۷/۱۴	۲/۱۳	۱/۴۹
۱۰	۱۲/۵	۲/۷	۵/۵۷
۲۵	۳۷/۸	۴/۲	۷/۰۵

اولیه شد با رابطه ای خطی نسبت به دما تغییر پیدا کرده است. تغییر خطی این پارامتر به دلیل به ثبات رسیدن نرخ تنفس در دوره میانی زمان نگهداری و در نتیجه رسیدن به تعادل نسبی گازی بسته بندی مربوط است. علاوه بر این، همان طور که در بخش پیشین مشاهده گردید، افزودن اسانس بر نرخ تنفس میوه در دوره نگهداری اثرگذار بود. به طوری که تأثیر حضور اسانس در غلظت ۵۰۰ پی پی ام بر پارامترهای مدل میکائیل - متن نسبت به دما نشان می دهد، حضور اسانس موجب کاهش در پارامترهای تخمین زده توسط مدل شده است.

روند تغییرات پارامترهای معادله میکائیل - متن تحت تأثیر دمای مختلف نگهداری پرتقال رقم والنسیا در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود تغییرات پارامتر $R_{O_2}^{max T}$ (حداکثر نرخ تنفس تخمین زده شده) نسبت به دمای نگهداری به صورت رابطه ای نمایی افزایش پیدا کرده است. در واقع تغییر پارامتر حداکثر نرخ تنفس با دمای نگهداری مبین تأثیر دما بر افزایش شدت تنفس میوه است. از سوی دیگر تغییر پارامتر K_{m, O_2} نسبت به دمای نگهداری دارای رابطه ای خطی بود. بدین معنا که میزان غلظت اکسیژن که موجب کاهش نرخ تنفس به میزان نصف مقدار



شکل ۵- تغییرات پارامتر $R_{O_2}^{max T}$ معادله میکائیل - متن با دمای نگهداری.

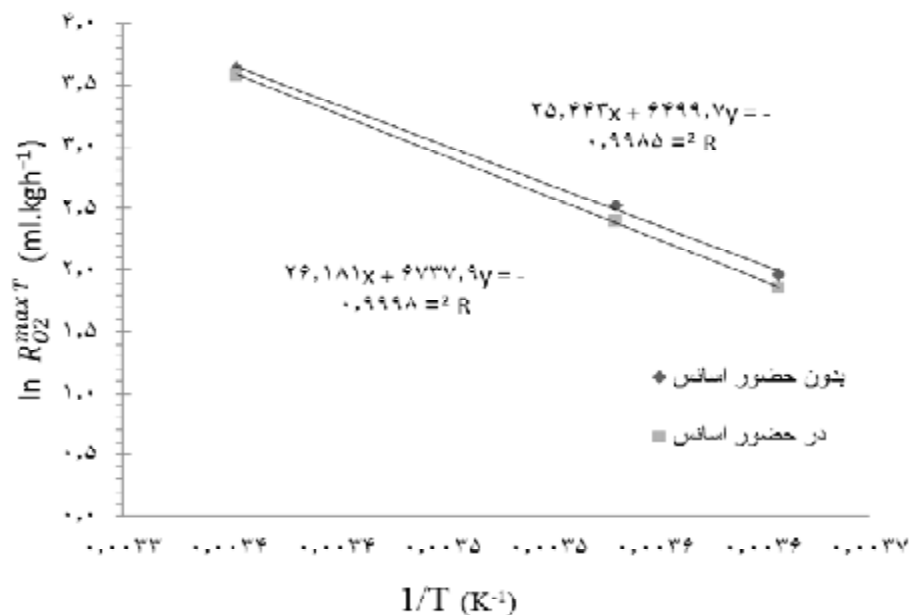


شکل ۶- تغییرات پارامتر $K_{m,0.2}$ معادله میکائیل- منتن با دمای نگهداری.

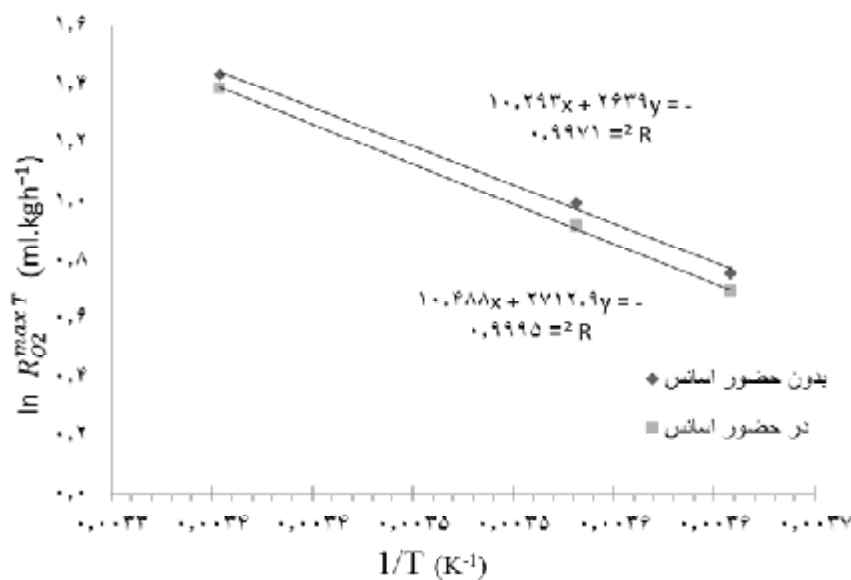
۳-۳- وابستگی پارامترهای مدل میکائیل منتن به تغییر دما

تغییرات دما موجب اثرگذاری با شدت بالا بر روند تغییرات نرخ تنفس میوه می‌شود. از این رو شناخت خصوصیات وابسته به دما موجب رسیدن به شرایط بهینه در سیستم نگهداری میوه می‌شود. شکل ۷ و ۸ نشان‌دهنده وابستگی پارامترهای تخمین زده شده به تغییر دما و محاسبه انرژی فعال‌سازی مبتنی بر آن است. شکل ذیل وابستگی پارامترهای معادله میکائیل-منتن به دمای نگهداری را بر مبنای رابطه آرینوس نشان می‌دهد. انرژی فعال‌سازی بر مبنای حداکثر نرخ تنفس میوه ($R_{0.2}^{max,T}$) معادل ۵۳/۱۲ کیلو ژول بر مول و پارامتر کاهش نرخ تنفس به نصف میزان حداکثر ($K_{m,0.2}$) معادل با ۲۱/۵۸ محاسبه شد. هم چنین مقادیر انرژی فعال‌سازی برای هر دو پارامتر مورد بحث در حضور اسانس آویشن به مقادیر بیشتری تغییر نمود. حداکثر نرخ تنفس میوه در حضور ۵۰ پی‌پی‌ام اسانس، معادل ۵۵/۶۱ کیلو ژول بود و پارامتر کاهش نرخ تنفس به نصف میزان حداکثر ($K_{m,0.2}$) به ۲۲/۴۱ تغییر نمود.

روند تغییرات پارامترهای مدل میکائیل- منتن در این پژوهش با آنچه توسط تروری و همکاران (۲۰۰۹) در خصوص میوه سیب رقم آنورکا (۳۴) گزارش شده است، مشابهت دارد. از سوی دیگر پارامتر $K_{m,0.2}$ تخمین زده شده در پژوهش پیش رو با نتایج این محققان در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد دارای مشابهت بود. نزدیک بودن این پارامتر در میوه پرتقال رقم والنسیا و سیب رقم آنورکا را می‌توان به خصوصیات مشابه در حساسیت به نفوذ گاز دی‌اکسید کربن جمعی در بسته‌بندی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در نتیجه کاهش نرخ تنفس میوه به نصف مقدار اولیه نسبت داد. این در حالی است که مقادیر K_m تخمین زده شده برای میوه پرتقال با میزان این پارامتر در کلم سالادی (۱/۰۸۳ درصد)، هویج خورد شده (۱/۱۵ درصد)، پیاز سبز (۱/۶ درصد) و کلم بروکلی (۱/۴ درصد) تفاوت زیادی داشت (۳۴). میزان بالاتر پارامتر K_m نسبت به سیب و انواع سبزی‌ها مربوط به نوع پوست پوشش‌دهنده میوه و سبزی است که بر خصوصیات مقاومت به انتشار گاز در بافت محصول تاثیر گذارست (۲۳).



شکل ۷- انرژی فعال سازی در حضور و عدم حضور اسانس بر مبنای حداکثر نرخ تنفس ($R_{O_2}^{max T}$) میوه پرتقال رقم والنسیا.



شکل ۸- انرژی فعال سازی در حضور و عدم حضور اسانس بر مبنای پارامتر کاهش نرخ تنفس به نصف میزان حداکثر (K_{m,O_2}) میوه پرتقال رقم والنسیا.

پرتقال رقم والنسیا دارای انرژی فعال سازی در محدوده تقریبی میانی اکثر سبزی ها و میوه ها است. از سوی دیگر افزایش انرژی فعال سازی با افزودن اسانس آویشن به سطح

میزان انرژی فعال سازی برای اکثر میوه ها و سبزی ها دارای محدوده ۹۳-۲۹ کیلو ژول بر مول است (۱۵). با در نظر گرفتن این موارد، وابستگی نرخ تنفس به دمای نگهداری

4. Aghdam, M. S., Asghari, M., Babalar, M. and Sarcheshmeh, M. A. A. 2016. Impact of salicylic acid on postharvest physiology of fruits and vegetables. In *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality*, pp. 243-268.
5. Alhassan, N., Golding, J. B., Wills, R. B., Bowyer, M. C. and Pristijono, P. 2019. Long Term Exposure to Low Ethylene and Storage Temperatures Delays Calyx Senescence and Maintains 'Afourer' Mandarins and Navel Oranges Quality. *Foods*, 8(1): 19.
6. Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O. and Baker, R.A. 1995. Edible Coatings for Lightly Processed Fruits and Vegetables. *Hortscience*, 30(1):35-38.
7. Benítez, S., Chiumenti, M., Sepulcre, F., Achaerandio, I. and Pujolá, M. 2012. Modeling the effect of storage temperature on the respiration rate and texture of fresh cut pineapple. *Journal of food engineering*, 113(4): 527-533.
8. Calo, J. R., Crandall, P. G., O'Bryan, C. A. and Rieke, S. C. 2015. Essential oils as antimicrobials in food systems—A review. *Food Control*, 54: 111-119.
9. Cao, J., Wang, C., Xu, S., Chen, Y., Wang, Y., Li, X. and Sun, C. 2019. The effects of transportation temperature on the decay rate and quality of postharvest Ponkan (*Citrus reticulata* Blanco) fruit in different storage periods. *Scientia Horticulturae*, 247: 42-48.
10. Chouliara, E., Karatapanis, A., Savvaidis, I. N. and Kontominas, M. G. 2007. Combined effect of oregano essential oil and modified atmosphere packaging on shelf-life extension of fresh chicken breast meat, stored at 4 C. *Food Microbiology*, 24(6): 607-617.
11. De Corato, U. 2019. Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1-36.
12. Del Nobile, M. A., Baiano, A., Benedetto, A. and Massigan, L. 2006. Respiration rate of minimally processed lettuce as affected by packaging. *Journal of Food Engineering*, 74(1): 60-69.
13. Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A. and Galotto, M. J. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria*

میوه نشان‌دهنده کاهش وابستگی نرخ تنفس به دمای نگهداری است و به عنوان شاخص اثر حفاظتی برای میوه قابل در نظر گرفتن است.

۴-نتیجه‌گیری

بسته‌بندی محصولات باغی از کارآمدترین روش‌های کاهش ضایعات محصولات در زنجیره توزیع است. بسته‌بندی تحت اتمفسر اصلاح شده مبتنی بر طراحی ترکیب گازهای احاطه‌کننده محصول داخل بسته‌بندی است. بنابراین اولین قدم در طراحی سیستم بر مبنای مدل‌سازی نرخ تنفس بنا شده است. نتایج این پژوهش به وضوح نشان می‌دهد نرخ تنفس میوه پرتقال رقم والنسیا وابسته به زمان نگهداری و دمای محیط بسته‌بندی بود. از سوی دیگر نتایج نشان‌دهنده تأثیرگذاری اسانس آویشن شیرازی بر نرخ تنفس میوه و انرژی فعال‌سازی بود. نتایج حاصله همچنین به روشنی کارآمدی مدل‌سازی وابستگی نرخ تنفس به اتمفسر گازی بر مبنای معادله میکائیل-منتن و همچنین کاربرد معادله آرنوس در ارزیابی وابستگی نرخ تنفس به دمای نگهداری را نشان داد. به طور کل نتایج حاصل از این پژوهش اهمیت در طراحی سیستم اتمفسر اصلاح شده را به منظور به حداقل رساندن ضایعات محصول طی دوره نگهداری و توزیع محصول نشان می‌دهد.

۵-منابع

۱. اجاق، م.، رضایی، م.، رضوی، ه. و حسینی، م. ۱۳۸۸. اثر پوشش‌های آنتی‌میکروبی در افزایش ماندگاری ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، جلد ۳۴، شماره ۹، ۲۳-۱۳.
۲. امیدبیگی، ر. ۱۳۸۹. تولید و فراوری گیاهان دارویی. جلد ۱. چاپ دوم، تهران، ص ۷۲-۶۶ و ۱۳۴-۱۲۵.
۳. جنتی، م.، عبدوسی، و. و مشهدی اکبر بوجار، م. ۱۳۹۳. اثر کاربرد کلرید کلسیم و اسانس آویشن بر برخی صفات پس از برداشت میوه توت فرنگی. فصل نامه دانش نوین کشاورزی پادار، جلد ۱۰، شماره ۲ (۲): ۳۲-۲۵. ویژه نامه باغی.

- coated, whole and sliced mushrooms. *LWT-Food Science and Technology*, 39(4): 365-372.
24. Lee, D. S., Hagggar, P. E., Lee, J. and Yam, K. L. 1991. Model for fresh produce respiration in modified atmospheres based on principles of enzyme kinetics. *Journal of Food Science*, 56(6):1580-1585.
25. Marandi, R. J., Hassani, A., Ghosta, Y., Abdollahi, A. L. I., Pirzad, A. and Sefidkon, F. 2011. Improving postharvest quality of table grape cv. "irish baba" using *Thymus kotschyanus* and *Carum copticum* essential oils. *Journal of Food Safety*, 31(1): 132-139.
26. Matar, C., Gaucel, S., Gontard, N., Guilbert, S. and Guillard, V. 2018. Predicting shelf life gain of fresh strawberries 'Charlotte cv' in modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 142: 28-38.
27. Nerilo, S. B., Rocha, G. H. O., Tomoike, C., Mossini, S. A., Grespan, R., Mikcha, J. M. and Machinski Jr, M. 2016. Antifungal properties and inhibitory effects upon aflatoxin production by *Zingiber officinale* essential oil in *Aspergillus flavus*. *International journal of food science & technology*, 51(2): 286-292.
28. Patrignani, F., Siroli, L., Serrazanetti, D. I., Gardini, F. and Lanciotti, R. 2015. Innovative strategies based on the use of essential oils and their components to improve safety, shelf-life and quality of minimally processed fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 46(2): 311-319.
29. Rodriguez-Aguilera, R. and Oliveira, J. C. 2009. Review of design engineering methods and applications of active and modified atmosphere packaging systems. *Food Engineering Reviews*, 1: 66-83.
30. Severino, R., Ferrari, G., Vu, K. D., Donsi, F., Salmieri, S. and Lacroix, M. 2015. Antimicrobial effects of modified chitosan based coating containing nanoemulsion of essential oils, modified atmosphere packaging and gamma irradiation against *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella Typhimurium* on green beans. *Food Control*, 50: 215-222.
31. Sikkema, J., de Bont, J. A. and Poolman, B. 1994. Interactions of cyclic hydrocarbons with biological membranes. *Journal of Biological Chemistry*, 269(11): 8022-8028.
32. Sirocchi, V., Devlieghere, F., Peelman, N., Sagratini, G., Maggi, F., Vittori, S. and Ragaert, P. 2017. Effect of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil combined with different packaging conditions to extend the ananassa) shelf-life. *Food Chemistry*, 91(4): 751-756.
14. Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N. and Mnif, W. 2016. Essential oils' chemical characterization and investigation of some biological activities: a critical review. *Medicines*, 3(4): 25.
15. Exama, A., Arul, J., Lencki, R. W., Lee, L. Z. and Toupin, C. 1993. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, 58: 1365-1370.
16. Fatemi, S., Jafarpour, M. and Eghbalsaied, S. 2012. Study of the effect of *Thymus vulgaris* and hot water treatment on storage life of orange (*Citrus sinensis* CV. Valencia). *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(6): 968-971.
17. Gomes, M. H., Beaudry, R. M., Almeida, D. P. and Malcata, F. X. 2010. Modelling respiration of packaged fresh-cut 'Rocha' pear as affected by oxygen concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, 96(1): 74-79.
18. Goulas, A. E. and Kontominas, M. G. 2007. Combined effect of light salting, modified atmosphere packaging and oregano essential oil on the shelf-life of sea bream (*Sparus aurata*): Biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry*, 100(1): 287-296.
19. Guo, Z., Liu, H., Chen, X., Huang, L., Fan, J., Zhou, J. and Chang, X. 2019. Modified-atmosphere packaging maintains the quality of postharvest whole lettuce (*Lactuca sativa* L. Grand Rapid) by mediating the dynamic equilibrium of the electron transport chain and protecting mitochondrial structure and function. *Postharvest Biology and Technology*, 147: 206-213.
20. Guilbert, S., Gontard, N. and Gorris, L. G. 1996. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *LWT-food science and technology*, 29(1-2): 10-17.
21. <https://www.un.org.ir/farsi-news/item/3313-10-may-2016-sustainable-development-goal-12-responsible-consumption-and-production-farsi-story>.
22. Ilić, Z. S., Šunić, L. J. U. B. O. M. I. R. and Fallik, E. 2017. Quality evaluation and antioxidant activity of mini sweet pepper cultivars.
23. Kim, K. M., Ko, J. A., Lee, J. S., Park, H. J. and Hanna, M. A. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of

36. Wei, K., Zhou, H., Zhou, T. and Gong, J. 2007. Comparison of aqueous ozone and chlorine as sanitizers in the food processing industry: impact on fresh agricultural produce quality. *Ozone: Science and Engineering*, 29(2): 113-120.
37. Wohner, B., Pauer, E., Heinrich, V. and Tacker, M. 2019. Packaging-Related Food Losses and Waste: An Overview of Drivers and Issues. *Sustainability*, 11(1): 264.
38. Yarılgaç, T., Kadim, H. and Ozturk, B. 2019. Role of maturity stages and modified-atmosphere packaging on the quality attributes of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.) throughout shelf life. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(1):421-428.
- shelf life of refrigerated beef meat. *Food chemistry*, 221:1069-1076.
33. Top Production of Oranges, 2014 – choose "Production, Crops, World" in the left margin and picklist". *United Nations, Food and Agricultural Organization, FAO Statistics. 2014*. Retrieved 1 April 2017.
34. Torrieri, E., Cavella, S. and Masi, P. 2009. Modelling the respiration rate of fresh-cut Annurca apples to develop modified atmosphere packaging. *International journal of food science & technology*, 44(5): 890-899.
35. Wang, Z. W., Duan, H. W. and Hu, C. Y. 2009. Modelling the respiration rate of guava (*Psidium guajava* L.) fruit using enzyme kinetics, chemical kinetics and artificial neural network. *European Food Research and Technology*, 229(3): 495-503.

(Original Research Paper)

Modeling the Respiration Rate of Oranges Coated by *Thymus Vulgaris* Essential Oil to Develop Modified Atmosphere Packaging

Gholam Hossein Haghayegh^{1*}, Nafiseh Zaveh Zad²

1-Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Faculty, Zabol University, Zabol, Iran.

2-MSc Graduated of Food Science and Technology, Guchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.

Received:26/06/2019

Accepted:23/12/2019

Abstract

In this work, the effectiveness of temperature, oxygen and *Thymus vulgaris* essential oil (*Zataria multiflora*) coated on the respiration rate of oranges (*Citrus sinensis L.*) cv. Valencia was studied to properly develop modified atmosphere packaging. Respiration rate of orange in the close system was studied at the range of temperature 5, 10 and 25^{0C} as well as the essential oil in the 3 level from 125, 250 to 500 ppm. A Michaelis–Menten-type equation, with the model constants used to describing the respiration rate of fruit. Our results show the efficacy of modelling for predicting of respiration rate in the varying oxygen concentration and storage time. Arrhenius-type relationship, was used for predicting respiration rate on varying the temperature. The results indicated that increasing in the storage temperature leading to decrease in the time of respiration rate and reach equilibrium state. The maximal respiration rate ($R_{O_2}^{maxT}$) and K_{m,O_2} value changes in the exponential and linear manner respectively with increase in the temperature. As well as, the essential oil coating led to decrease in the model parameters value estimated. The activation energy of the respiration rate based $R_{O_2}^{maxT}$ and K_{m,O_2} for oranges was calculated at 53.12 and 21.18 respectively. In addition, the value of activation energy increased to the higher value in the presence of essential oil coating.

Keywords: Valencia Oranges, Michaelis–Menten-type Equation, Modeling of Modified Atmosphere Packaging, *Thymus Vulgaris* Essential Oil.

*Corresponding Author: haghayegh@uoz.ac.ir