

مدل سازی نرخ تنفس گلابی رقم درگزی به همراه پوشش اسانس مینایی در طراحی بسته بندی اتمسفر اصلاح شده

شیما نعیمی قلی مشهد^۱، محمدحسین حداد خداپرست^{۲*}، ناصر صداقت^۳،
مجید عزیزی^۴، فرشته حسینی^۵

- ۱- دانشجوی دکترا، واحد بین الملل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 ۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 ۳- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 ۴- استاد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 ۵- گروه افزودنی های مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری جهاد دانشگاهی مشهد
 (تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۱۱)

چکیده

در این پژوهش تاثیر دما، غلظت اکسیژن و زمان نگهداری روی نرخ تنفس گلابی رقم درگزی بدون پوشش و پوشش دهی شده با اسانس مینایی (*Sclerorhachis platyrachis*) در غلظت های ۰، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ ppm مورد بررسی قرار گرفت. مدلسازی ریاضی با استفاده از معادله میکائیلز-متن انجام شده و ثوابت معادله با رابطه آرنیوس توصیف و نرخ تنفس در دماهای مختلف (۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتیگراد) و غلظت های اکسیژن پیش بینی شده و نهایتاً بسته بندی اتمسفر اصلاح شده (MAP) جهت افزایش انبارمندی گلابی رقم درگزی طراحی شد. نتایج نشان داد که تمام فاکتورها بر نرخ تنفس گلابی ها تاثیر گذار بود ولی دمای نگهداری تاثیر چشمگیرتری بر نرخ تنفس داشت. افزایش دما سبب افزایش نرخ تنفس و کاهش اثر مثبت اسانس بر کاهش این پارامتر شد. زمان تعادل تنفس حدود ۱۰۰ ساعت بود. گلابی رقم درگزی در دمای ۴ و ۱۰ درجه سانتیگراد در محدوده کسر تنفس هوایی بود. در حالیکه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد پس از طی زمان حدود ۱۱۰ ساعت و رسیدن غلظت گاز دی اکسید کربن به حدود ۲۳ درصد، کسر تنفسی آن از محدوده بحرانی عبور نمود. در نهایت بسته بندی حاوی ۳/۷٪ گاز اکسیژن، ۸/۱٪ گاز دی اکسید کربن و مابقی گاز ازت به عنوان MAP بهینه جهت نگهداری گلابی رقم درگزی پیشنهاد شد.

کلید واژگان: بسته بندی اتمسفر اصلاح شده، گلابی، مدلسازی، نرخ تنفس

*مسئول مکاتبات: Khodaparast@um.ac.ir

۱- مقدمه

انسان با استفاده از روش‌های مختلف نگهداری مواد غذایی همانند خشک کردن، انجماد و تخمیر سعی در افزایش عمر ماندگاری میوه‌ها و سبزی‌ها دارد اما این روش‌ها باعث کاهش تازگی و خواص تغذیه‌ای آن‌ها می‌شوند. امروزه روش‌های مناسبی جایگزین آن‌ها شده است که منجر به حفظ کیفیت مواد غذایی تازه می‌گردد. یکی از این روش‌های مؤثر در افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزی‌ها، بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده یا به اختصار MAP^1 است. این روش به معنای بسته‌بندی یک محصول فسادپذیر در هوایی است که تغییر یافته و ترکیب آن با ترکیب هوای معمولی متفاوت است [۱]. افزایش انبارمانی محصولات تازه در MAP با میزان O_2 کم و CO_2 بالا به دلیل کاهش فعالیت متابولیکی محصولات می‌باشد [۲]. برای طراحی یک MAP مناسب فاکتورهای متعددی باید مدنظر قرار بگیرد نظیر نرخ تنفس محصول غذایی، وزن محصول، حجم آزاد درون بسته، دما، میزان گاز اولیه درون بسته و نفوذپذیری فیلم بسته بندی به O_2 و CO_2 که از این میان نرخ تنفس بسیار قابل توجه بوده و تحت تاثیر سن محصول، دما، ترکیب گازی و رطوبت درون بسته می‌باشد [۳]. بنابراین مدلسازی نرخ تنفس در طراحی MAP برای میوه های تازه بسیار ضروری می‌باشد [۴، ۵]. مدل های متعددی برای نرخ تنفس مورد بررسی قرار گرفته است که استفاده از معادله میکائیلز-متن بیشترین کاربرد را دارد [۶].

مطالعات متعددی روی طراحی MAP برای میوه های مختلف انجام شده است ولی اطلاعات کافی برای طراحی MAP مناسب برای گلابی در دسترس نمی‌باشد. هدف از انجام این پژوهش به کاربرد مدلی جهت طراحی MAP مناسب برای گلابی تحت ۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. کیتیک میکائیلز-متن و مدل آرنیوس برای توصیف اثر O_2 و دما روی نرخ تنفس مورد استفاده قرار گرفتند.

۲- مواد و روش ها

۱-۲- آماده سازی نمونه

گلابی (رقم درگزی) از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و گیاه مینایی (*S. platyrachis*) جهت استخراج اسانس از شهرستان سبزوار تهیه شد. اسانس به روش حسینی و همکاران استخراج شد [۷]. نیمی از گلابی ها در محلول پوشش دهی (اسانس مینایی با غلظت ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی پی ام) به مدت ۲ دقیقه و در دمای محیط غوطه ور شدند و نیمی دیگر در آب مقطر به عنوان نمونه های شاهد شسته شدند. سپس نمونه ها در جریان هوای ملایم خشک شدند. نمونه ها به دو دسته بدون پوشش و پوشش دهی شده با اسانس مینایی با غلظت ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی پی ام تقسیم شدند و در بسته های LDPE بسته بندی شدند. مدلسازی ریاضی جهت طراحی MAP در سه دمای ۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتیگراد انجام شد.

۲-۲- بهینه سازی و طراحی بسته بندی با

اتمفسفر اصلاح شده

بهینه سازی و طراحی بسته بندی با اتمسفر اصلاح شده به روش Torrieri و همکاران انجام پذیرفت [۸]. بدین منظور ترکیب گاز بالاسری برحسب درصد به صورت روزانه تا رسیدن به حالت تعادل گازی، با استفاده از دستگاه گازسنج^۲ Oxybaby (ساخت کمپانی WITT، آلمان) اندازه گیری شد و با به دست آوردن غلظت گازهای O_2 و CO_2 ، نرخ تنفس گلابی با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید.

$$R_{O_2} = \frac{(Y_{O_{2i}} - Y_{O_{2f}})}{100(t - t_0)} \times \frac{V_f}{M} \quad (1)$$

$$R_{CO_2} = \frac{(Y_{CO_{2f}} - Y_{CO_{2i}})}{100(t - t_0)} \times \frac{V_f}{M} \quad (2)$$

در این روابط R_{O_2} نرخ مصرف گاز O_2 ($mL \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$)، R_{CO_2} نرخ تولید گاز CO_2 ($mL \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$)، $Y_{O_{2i}}$ و $Y_{O_{2f}}$ غلظت های گازی (%) در زمان اولیه t_i (h) و Y_{O_2} و Y_{CO_2} غلظت های گازی (%) در لحظه t (h)، W وزن محصول (kg)

برای اندازه گیری تست نفوذ پذیری از فیلم LDPE با ضخامت 80 ± 5 میکرومتر استفاده شد. نفوذ پذیری فیلم مورد استفاده در برابر گاز اکسیژن و دی اکسید کربن توسط دستگاه نفوذ پذیری گاز مدل GDP-C Goesfeld/Munchen ساخت کشور اتریش و بر اساس استاندارد ASTM-D1434 (پژوهشگاه پلیمر) اندازه گیری شد.

برای طراحی موفق MAP دانستن نرخ تنفس، نفوذپذیری (O_2 و CO_2) بسته، اتمسفر بهینه (CO_2 و O_2) برای محصول مورد نظر، شکل بسته و وزن محصول مورد نیاز است که در حالت پایدار می توان از روابط ۹ و ۱۰ در طراحی استفاده نمود.

$$y_{O_2}^{eq} = y_{O_2}^{out} - \frac{R_{O_2}^{eq} \times e \times M}{R_{O_2} \times A} \quad (9)$$

$$y_{CO_2}^{eq} = y_{CO_2}^{out} + \frac{R_{CO_2}^{eq} \times e \times M}{R_{CO_2} \times A} \quad (10)$$

$y_{O_2}^{out}$ و $y_{CO_2}^{out}$ غلظت O_2 و CO_2 در حالت تعادل (،/.)، $R_{O_2}^{eq}$ و $R_{CO_2}^{eq}$ غلظت O_2 و CO_2 خارج بسته (،/.)، R_{CO_2} سرعت مصرف O_2 و تولید CO_2 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$)، P_{CO_2} و P_{O_2} نفوذپذیری به O_2 و CO_2 ($ml \cdot \mu m \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)، W وزن محصول (kg)، A سطح فیلم (m^2).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- وابستگی نرخ تنفس گلابی رقم درگزی

تحت تأثیر دمای نگهداری

با در نظر گرفتن عوامل ذکر شده در روند طراحی اتمسفر اصلاح شده برای گلابی رقم درگزی، اولین و مهمترین عامل تأثیرگذار بر طراحی موفقیت آمیز این نوع بسته بندی، مطالعه نرخ تنفس میوه و روند تغییرات گازهای اتمسفری در شرایط نگهداری است. شکل ۱ (A و B) به ترتیب نشان دهنده تغییرات گاز اکسیژن و دی اکسید کربن تحت تأثیر دمای نگهداری است. همانطور که ملاحظه می شود در دمای ۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد، غلظت گاز اکسیژن از ۲۱ درصد به ترتیب به حدود ۴/۸، ۳/۱ و ۱/۱ درصد کاهش و غلظت گاز دی اکسید کربن از ۰/۳ درصد به ترتیب به ۱۶/۸، ۲۰ و ۲۸/۸ درصد افزایش یافت.

و V_f حجم آزاد درون بسته (mL) است که با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$V_f = V \times \frac{W}{\rho} \quad (3)$$

در این رابطه V حجم بسته (mL)، وزن محصول (kg) و ρ دانسیته محصول (kg/m^3) است.

همچنین کسر تنفسی (RQ) که به عنوان شناساگر انتقال تنفس از حالت هوایی به بی هوایی عمل می کند (تنفس هوایی بین ۰/۷ تا ۱/۳ می باشد) به صورت زیر تعیین گردید.

$$RQ = \frac{R_{CO_2}}{R_{O_2}} \quad (4)$$

برای مدل سازی اثر غلظت های گازی روی نرخ تنفس از رابطه میکائیلز-متن استفاده شد [۹-۱۱].

$$R_{O_2} = \frac{y_{O_2} \times V_m}{y_{O_2} + K_m} \quad (5)$$

$$R_{CO_2} = RQ \times R_{O_2} \quad (6)$$

در این رابطه V_m ماکزیمم مقدار نرخ تنفس ($ml \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$) و K_m غلظتی از گاز O_2 که در آن غلظت نرخ تنفس نصف مقدار ماکزیمم خود است (%). با فیت کردن این مدل روی داده های نمودار $RQ-O_2$ با استفاده از نرم افزار MATLAB، ثابت های معادله میکائیلز-متن V_m ، K_m بدست می آیند.

برای بررسی درصد خطای مدل سازی از پارامتر مدول انحراف میانگین نسبی (E) استفاده گردید. به طور کلی هرچه مقدار این پارامتر کمتر باشد، نشان دهنده تطابق بیشتر داده های آزمایشگاهی و مدل سازی شده است.

$$E = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|R_{exp} - R_{pre}|}{R_{exp}} \quad (7)$$

که E مدول انحراف میانگین نسبی (،/.)، N تعداد داده ها، R_{exp} نرخ تنفس محاسبه شده با استفاده از داده های آزمایشی و R_{pre} نرخ تنفس پیش بینی شده از طریق معادله میکائیلز-متن می باشد.

پرکاربردترین معادله برای مدل سازی وابستگی دمایی نرخ تنفس معادله آرنیوس است که از معادله ۸ محاسبه می گردد:

$$R_{O_2} = R_{ref} e^{\left(\frac{-E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right) - \left(\frac{1}{T_{ref}} \right) \right)} \quad (8)$$

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.

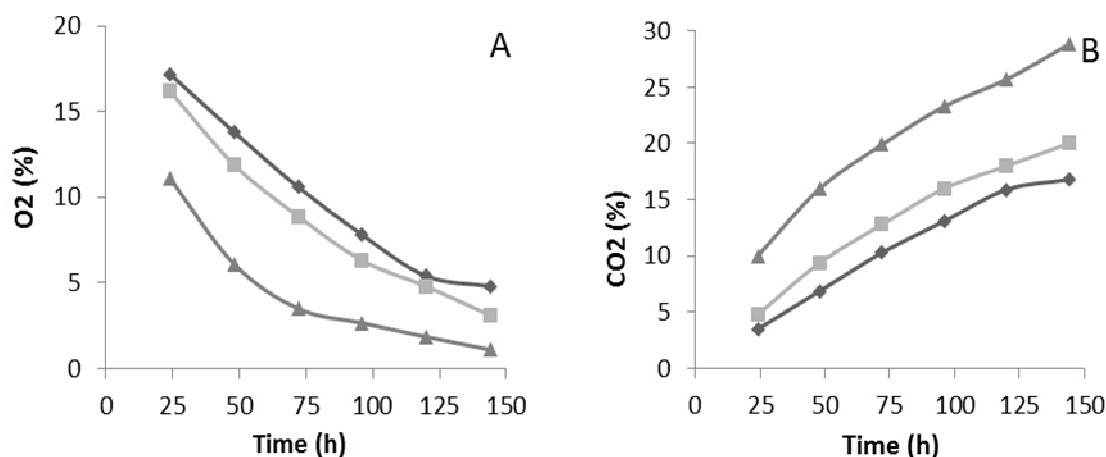


Fig 1 gas change in package containing pears at different temperatures: ♦ 4°C, ■ 10°C, ▲ 25°C.

درجه سانتی گراد مشهودتر بوده و به حدود دو برابر رسید. تأثیر دمای پایتتر بر روند تنفس میوه را می توان مربوط به اثر غلظت گاز دی اکسیدکربن دانست. گاز دی اکسید کربن در آب و چربی به شدت محلول است و قابلیت انحلال آن با کاهش دما افزایش می یابد [۱۶]. از این رو افزایش غلظت این گاز در اتمسفر موجود در بسته بندی باعث کاهش سرعت تنفس و به دنبال آن کاهش تخریب فیزیولوژیکی در میوه می گردد. همچنین تغییرات دما موجب تأثیرگذاری بر الگوی رسیدن به حالت تعادلی تنفس در میوه می شود. میوه نگهداری شده در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد با سرعت بیشتری نسبت به دمای ۱۰ و ۴ درجه به حالت تعادلی رسید. بر این مبنای زمان تعادل تنفس برای دمای ۲۵ درجه سانتی گراد ۸۰ ساعت، دمای ۱۰ درجه ۹۶ و دمای ۴ درجه سانتی گراد زمان ۱۲۰ ساعت بود. در دمای ۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد، غلظت گاز اکسیژن به ترتیب ۲/۲۵، ۲/۴۸ و ۲/۷۶ و گاز دی اکسید کربن به ترتیب ۲/۳۲، ۲/۷۷ و ۳/۹۹ بود. نتایج مشابهی از مطالعات قبلی در خصوص اثر افزایش دما بر نرخ تنفس زغال اخته و رسیدن به حالت تعادلی گازی گزارش شده است [۱۷]. همچنین نتایج مطالعه روی برش های تازه میوه سیب رقم آنورکا^۴ با نتایج این پژوهش مشابهت دارد [۸].

همانطور که نتایج نشان می دهد افزایش دمای نگهداری موجب افزایش نرخ تنفس گلابی با کاهش میزان گاز اکسیژن و افزایش گاز دی اکسید کربن شد. مطالعات متعددی در خصوص تأثیر دما بر عمر انبارمانی گلابی، رفتار تغییرات الگوی تنفس و برخی تغییرات فیزیکی شیمیایی صورت گرفته است. در این راستا Magness و همکاران در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که افزایش دمای نگهداری از ۲ به ۶ درجه سانتی گراد موجب کاهش عمر انبار گلابی رقم بارتلت^۳ به میزان دوبرابر شد [۱۳]. در مطالعه ای دیگر محققین در خصوص افزایش دما بر تغییرات زمان ماندگاری گلابی گزارش کردند که با افزایش هر ۲ درجه سانتیگراد دمای نگهداری در محدوده دمای ۱- تا ۷ درجه سانتی گراد، عمر انبارمانی به میزان یک پنجم اولیه کاهش یافت [۱۴]. نتایج پوریت نیز با نتایج این محققان همخوانی داشت [۱۵].

شکل ۲ (A و B) به ترتیب نرخ مصرف گاز اکسیژن (RO₂) و تولید دی اکسید کربن (RO₂) را تحت تأثیر افزایش دما نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، نرخ تنفس به صورت کاملاً مشهود تحت تأثیر دمای نگهداری قرار داشت. بدین صورت که با افزایش دما، نرخ تنفس میوه تشدید شد. این افزایش در نرخ تنفس به خصوص با تغییر دما از ۱۰ به ۲۵

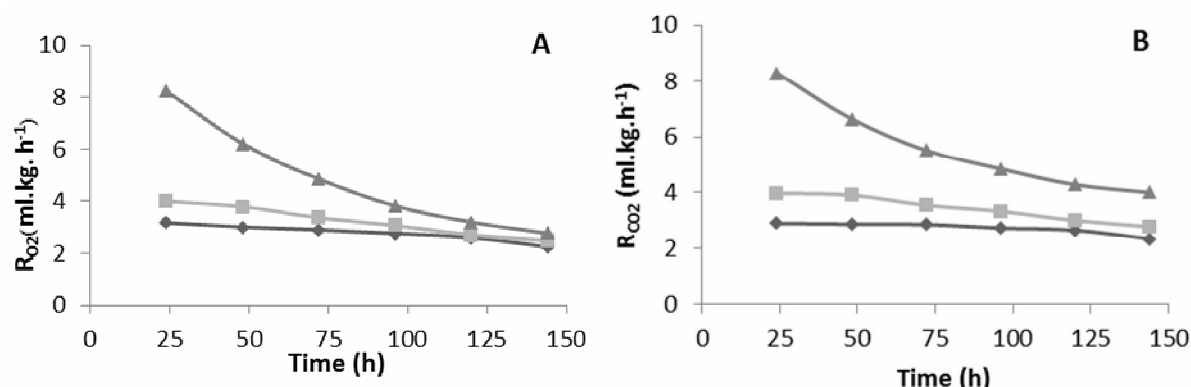


Fig 2 O₂ consumption rate (A) and CO₂ production rate (B) under different temperatures: ◆ 4°C, ■ 10°C, ▲ 25°C.

بافت و خصوصیات حسی گلابی می‌شود. با در نظر گرفتن نتایج حاصله می‌توان بیان نمود که کسر تنفسی تابعی از زمان نگهداری میوه است و با افزایش غلظت گاز دی اکسید کربن افزایش می‌یابد. تابعیت این پارامتر با زمان با استفاده از رابطه‌ی خطی در شکل ۳ به خوبی توصیف می‌شود.

شکل ۴ (A, B, C) به ترتیب نشان دهنده تأثیر حضور اسانس مینایی بر الگوی تنفس گلابی رقم درگزی در دمای ۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش سطح اسانس موجب کاهش نرخ تنفس در دوره نگهداری میوه شد. همچنین نتایج بیانگر آنست افزایش دمای نگهداری موجب کاهش اثر مثبت اسانس بر کاهش نرخ تنفس می‌گردد. نتایج به وضوح نشان می‌دهد، نرخ تنفس گلابی در زمان تعادلی و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در حضور صفر، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی پی ام اسانس مینای نیشابوری به ترتیب ۲/۲۵، ۲/۱۹، ۲/۱۳ و ۲/۰۹ میلی لیتر اکسیژن بر کیلوگرم بود. این در حالی است نرخ تنفس گلابی در زمان تعادلی و دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد در حضور صفر، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی پی ام اسانس مینای نیشابوری به ترتیب ۲/۴۶، ۲/۴۴، ۲/۴۱ و ۱/۳۷ میلی لیتر اکسیژن بر کیلوگرم بود. همچنین براساس نتایج بدست آمده نرخ تنفس گلابی در زمان تعادلی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در حضور صفر، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی پی ام اسانس مینای نیشابوری به ترتیب ۲/۷۶، ۲/۷۵، ۲/۷۵ و ۲/۷۳ میلی لیتر اکسیژن گزارش می‌شود. بنابراین نتایج نشان‌دهنده وابستگی تأثیر اسانس در کاهش نرخ تنفس گلابی به دماهای مختلف نگهداری است.

در خصوص افزایش عمر انبارمانی میوه تحت تأثیر افزودن اسانس‌های گیاهی تحقیقات بسیاری صورت گرفته است. در این راستا محققین متعددی گزارش کردند افزودن اسانس

شکل ۳ نشان‌دهنده تغییرات کسر تنفسی گلابی رقم درگزی تحت تأثیر دما و زمان نگهداری است. کسر تنفسی به عنوان شناساگر تغییر از حالت تنفس هوازی به بی‌هوازی شناخته می‌شود (تنفس هوازی بین ۰/۷ تا ۱/۳ می باشد) [۱۸]. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، کاهش غلظت گاز اکسیژن در زمان نگهداری موجب افزایش کسر تنفسی می‌شود. این پارامتر برای نمونه‌های نگهداری شده در دمای ۴ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در محدوده کسر تنفس هوازی است. کسر تنفسی در بسته حاوی گلابی‌های نگهداری شده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد پس از طی زمان حدود ۱۱۰ ساعت و رسیدن غلظت گاز دی اکسید کربن به حدود ۲۳ درصد از محدوده بحرانی عبور کرد.

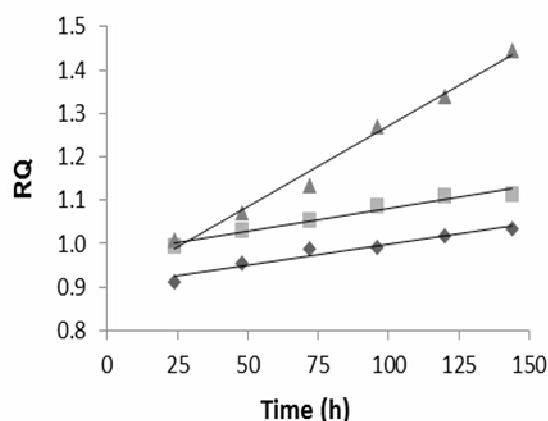


Fig 3 Respiration Quotient (RQ) change vs. time. ◆ 4°C, ■ 10°C, ▲ 25°C.

این بدین معنی است که پس از طی این زمان، شرایط تنفس بی‌هوازی برای نمونه‌های نگهداری شده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد شروع می‌گردد که باعث ایجاد تأثیرات مخرب بر

پایینی هستند. از سوی دیگر پتانسیل کارایی اسانس در خصوص برهم‌کنش آبیگریزی با سطح میوه و ایجاد پوشش به منظور کاهش فعالیت آبی و تأثیرگذاری بر نرخ تنفس است [۲۳]. افزایش دمای نگهداری با توجه به نقطه جوش پایین ترکیبات فعال حاضر در اسانس سبب جدا شدن آنها از سطح میوه شده که این امر سبب کاهش اثر مثبت اسانس در کاهش نرخ تنفس میوه می‌شود.

آویشن باغی و ریحان با کاهش نرخ تنفس سبب افزایش عمر انبارمانی میوه شدند [۱۹، ۲۰]. همچنین نتایج مشابهی در خصوص پرتقال و انگور گزارش گردیده است [۲۱، ۲۲]. همچنین با توجه به تغییرات نرخ تنفس تحت تأثیر دما و حضور اسانس مشخص می‌گردد، افزایش دما موجب کاهش تأثیر گذاری اسانس بر نرخ تنفس شد. اسانس‌های روغنی متشکل از ترکیبات آروماتیکی می‌باشند که دارای نقطه جوش

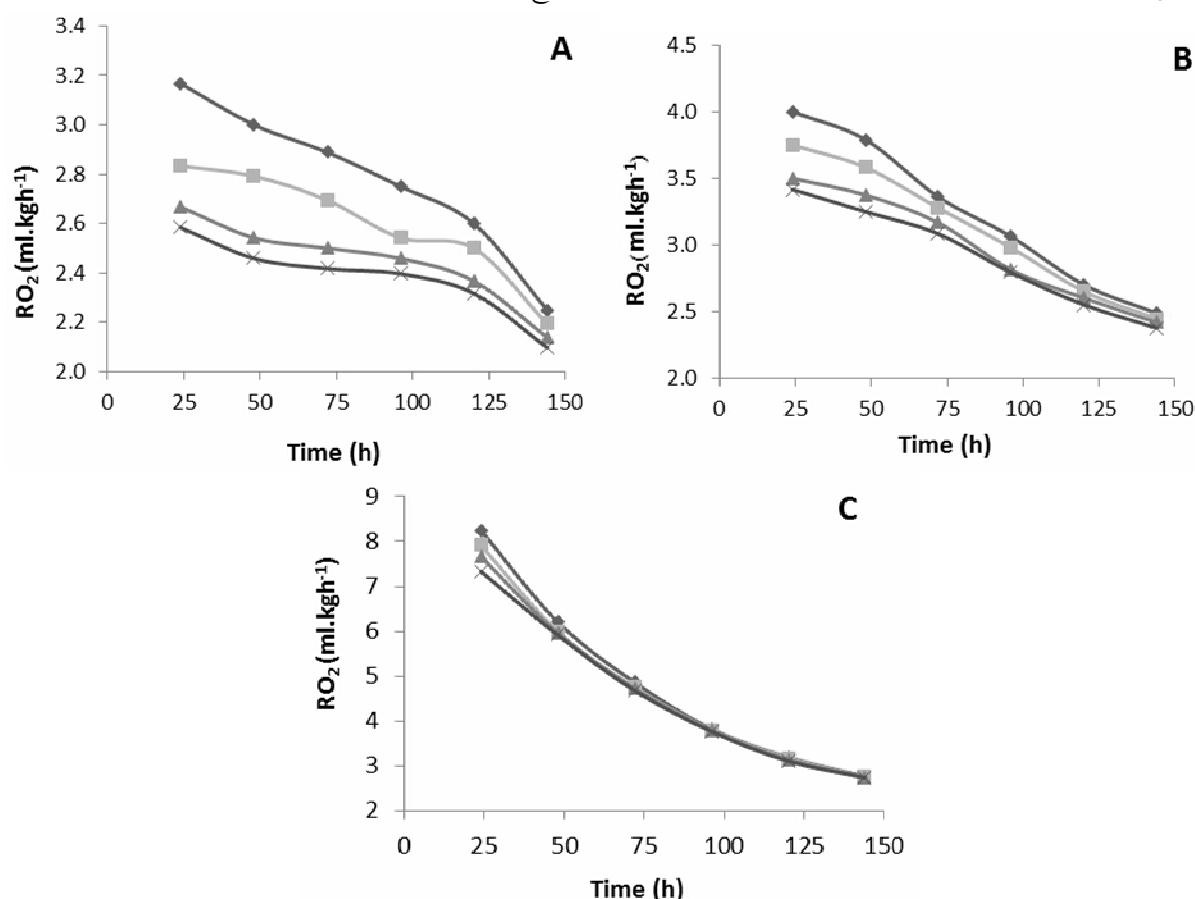


Fig 4 RO₂ of coated pears with *S. platyrrachis* essential oil (◆ 0ppm, ■ 125ppm, ▲ 250ppm, × 500ppm). A: 4°C, B: 10°C, C: 25°C.

گازهای اتمسفری موجود در بسته‌بندی است. از این رو تغییرات غلظت گاز اکسیژن و دی اکسید کربن موجب تغییرات در فرآیند و نوع تنفس میوه می‌شود. نتایج گواهی بر این امر بوده و نشان‌دهنده تأثیرگذاری هر دو پارامتر (دمای نگهداری و غلظت گازها) بر نرخ تنفس میوه است.

براساس نتایج مشخص گردید افزایش دما از ۴ به ۱۰ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش نرخ تنفس به میزان ۲۶ درصد و تغییر دما از ۱۰ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش نرخ تنفس به میزان ۱۰۰ درصد شد. همانطور که مشاهده می‌شود با کاهش درصد اکسیژن درون بسته‌بندی، نرخ تنفس اولیه نیز

۳-۳- مدل سازی نرخ تنفس گلابی رقم درگزی

با استفاده از رابطه میکائیلز-متن

۳-۳-۱- تأثیر دما و غلظت گاز اکسیژن

شکل ۵ نشان دهنده تغییرات نرخ تنفس گلابی رقم درگزی با تغییر در غلظت گاز اکسیژن موجود در بسته‌بندی و مقادیر پیشگویی شده توسط مدل میکائیلز-متن در دمای ۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، افزایش دمای نگهداری موجب افزایش در نرخ تنفس میوه می‌شود. از سوی دیگر نرخ تنفس میوه تحت تأثیر تغییرات غلظت

کاهش یافت که مربوط به افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن درون بسته‌بندی و اثر بازدارنده آن بر تنفس می‌باشد.

کاهش پیدا کرده است. به طوری که با کاهش غلظت اکسیژن (به حدود ۵ درصد)، نرخ تنفس در دمای ۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب به میزان ۲۱/۷۹، ۳۰/۶ و ۳۲/۸ درصد

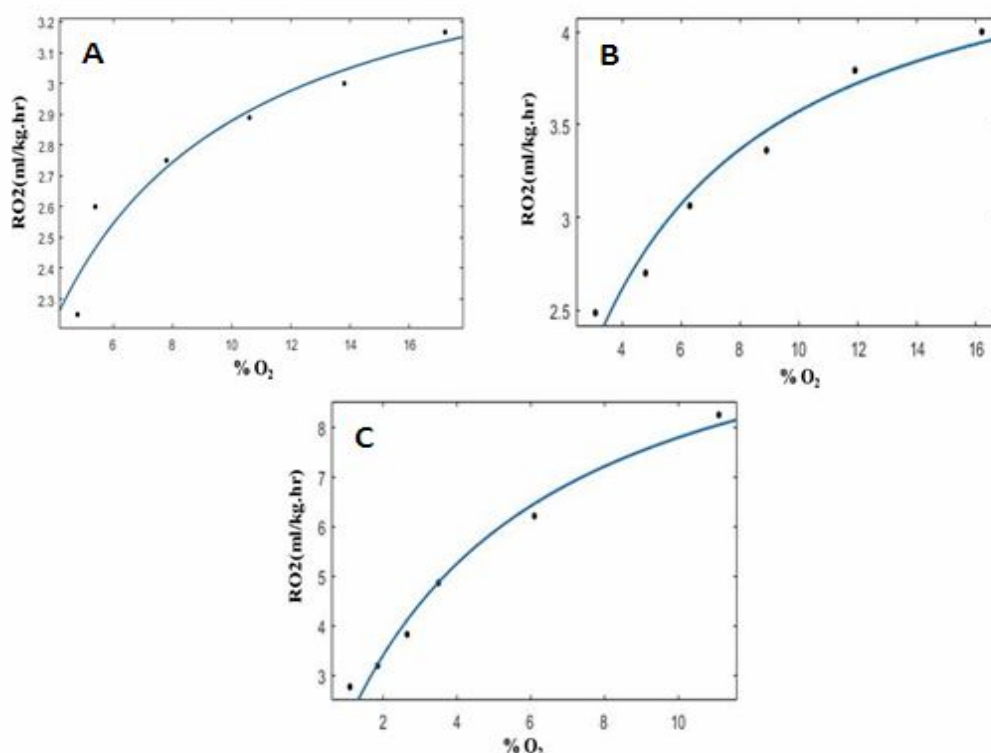


Fig 5 O_2 consumption rate of pears (R_{O_2}) vs. O_2 concentration at different temperatures: A: 4°C, B: 10°C, C: 25°C.

مبنای پارامترهای معادله میکائیلز-متن نشان داده شده است.

در جدول ۱ تغییرات دما بر نرخ تنفس گلابی رقم درگزی بر

Table 1 Michaelis-Menten parameters at different temperatures for Royal cucumber.

Temp (°C)	K_m (% v v ⁻¹)	R_{max} (ml.kg ⁻¹)	%E
4	2.45	3.58	2.85
10	3.25	4.73	3.34
25	4.77	11.5	6.49

تخمین زده شده است [۲۴، ۲۵]. این در حالی است که مقادیر K_m تخمین زده شده برای گلابی با میزان این پارامتر در کلم سالادی (۱/۰۸۳)، هویج خرد شده (۱/۱۵)، پیاز سبز (۱/۶) و کلم بروکلی (۱/۴) تفاوت زیادی داشت [۸]. مشابهت مقدار پارامتر K_m نسبت به سیب و مقادیر بالاتر نسبت به سبزیجات مربوط به نوع پوست میوه است که بر خصوصیات مقاومت به انتشار گاز در بافت محصول اثرگذار است [۲۴].

شکل ۶ نشان‌دهنده تغییرات پارامترهای معادله میکائیلز-متن تحت تأثیر دمای نگهداری است. نتایج به وضوح نشان می‌دهد پارامتر K_m با افزایش دما به صورت خطی و پارامتر R_{max} به عنوان حداکثر نرخ تنفس با رفتاری نمایی با افزایش دمای نگهداری افزایش یافت.

پارامتر K_m گلابی در این پژوهش دارای مشابهت نزدیکی با مقادیر تخمین زده شده برای سیب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. این پارامتر برای سیب مقادیری حدود ۴/۱۸ درصد

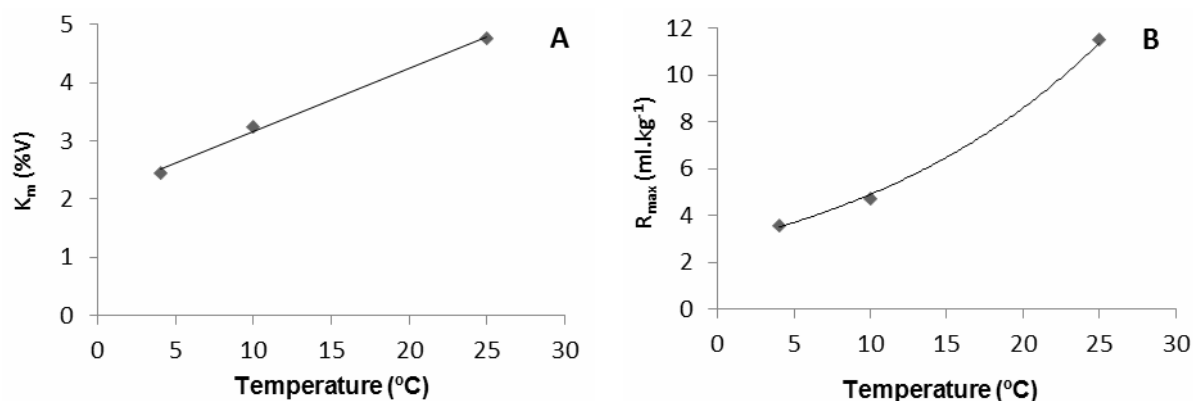


Fig 6 Michaelis-Menten model's parameters vs. temperature (lines represent the parameters predicted by the Arrhenius model).

میزان انرژی فعال‌سازی برای اکثر میوه‌ها و سبزی‌ها دارای محدوده ۹۳-۲۹ کیلو ژول بر مول است [۲۶]. هر چند مقادیر بالاتر (۱۳۷ کیلو ژول بر مول) توسط *Jacxsens* و همکاران گزارش گردیده است [۲۷]. با در نظر گرفتن این موارد، وابستگی نرخ تنفس به دمای نگهداری گلابی دارای انرژی فعال‌سازی در محدوده تقریبی میانی اکثر سبزی‌ها و میوه‌ها است.

شکل ۸ نشان‌دهنده رابطه میان مقادیر تخمین زده شده نرخ تنفس گلابی رقم درگزی توسط معادله میکائیلز-متن در برابر مقادیر نرخ تنفس حاصل از داده‌های تجربی در دمای ۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. همانطور که مشاهده می‌شود، معادله توسعه داده شده بر اساس داده‌های تجربی در هر دما، به خوبی مقادیر حاصله را تخمین زده است. با وجود تغییرات در ضریب تعیین رگرسیون (R^2) و همبستگی (r) میان داده‌های تجربی و مقادیر تخمین زده شده توسط مدل، R^2 بالای ۰.۹۲ و r بالای ۰.۹۶ حاصله نشان‌دهنده صحت و قابلیت مناسب مدل توسعه یافته در این پژوهش برای تخمین میزان نرخ تنفس گلابی در مدت زمان نگهداری است.

از طرف دیگر با در نظر گرفتن درصد مدول خطا در جدول ۱ مشخص می‌گردد که با افزایش دما میزان مدول به مقادیر بالاتر تغییر کرد. افزایش دما از ۱۰ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد موجب تغییر مدول خطا در حدود دو برابر شد. دلیل این افزایش در مدول خطا با دمای نگهداری به افزایش نرخ تنفس در بسته بندی حاوی میوه و در نتیجه مصرف سریع تر اکسیژن و افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن با غالب شدن تنفس بی‌هوازی مربوط است. همچنین از دیگر عوامل تاثیر گذار تغییرات غلظت گاز دی‌اکسید کربن در نتیجه نفوذ این گاز درون بافت محصول است که به دلیل پیچیدگی در فرآیند محاسبه نرخ تنفس و متغیرهای حاصل از آن موجب ایجاد خطا می‌شود.

شکل ۷ نشان‌دهنده انرژی فعال‌سازی بر مبنای حداکثر نرخ تنفس (R_{max}) و پارامتر کاهش نرخ تنفس به نصف میزان حداکثر (K_m) است. این شکل وابستگی پارامترهای معادله میکائیلز-متن به دمای نگهداری را بر مبنای رابطه آریونوس نشان می‌دهد. انرژی فعال‌سازی بر مبنای حداکثر نرخ تنفس میوه معادل ۳۹/۲۲ کیلو ژول بر مول و پارامتر کاهش نرخ تنفس به نصف میزان حداکثر معادل با ۲۰/۶۱ محاسبه شد.

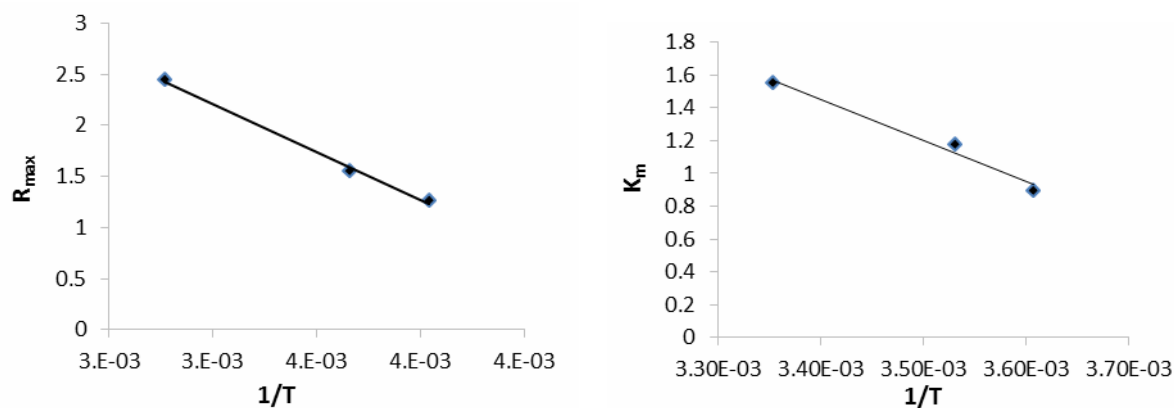


Fig 7 Arrhenius equation for Michaelis-Menten parameters for pear

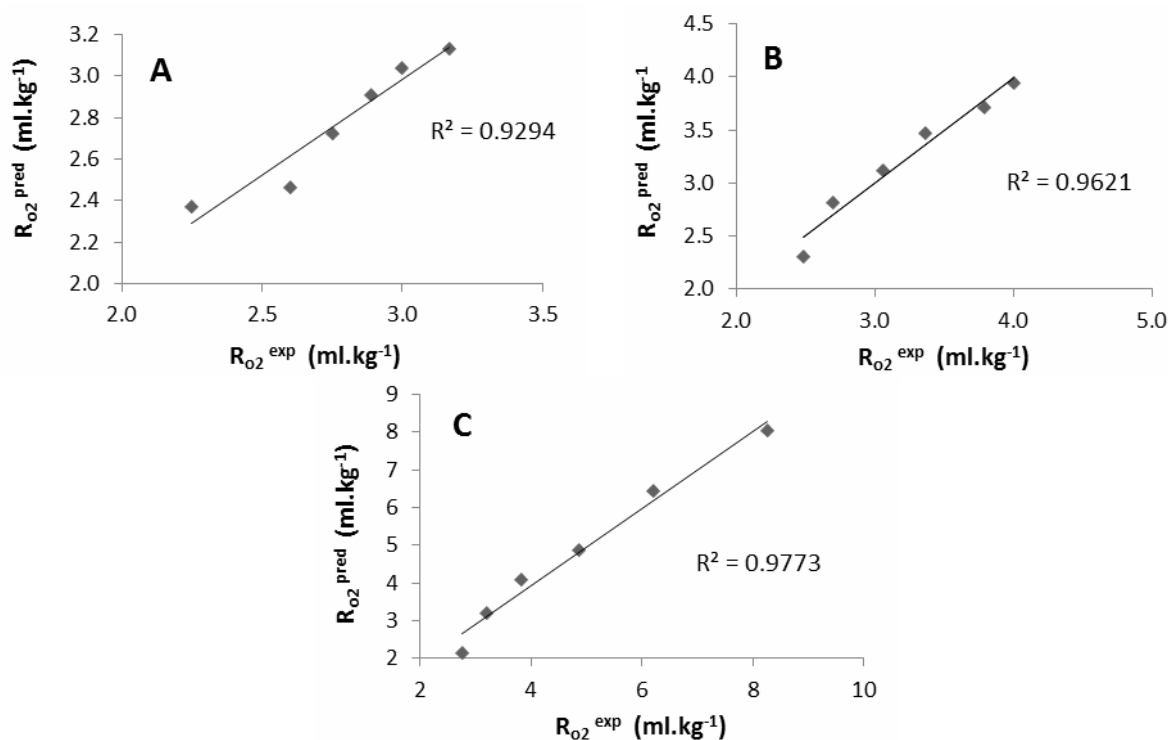


Fig 8 Regression and correlation between experimental and predicted RO₂. A: 4°C, B: 10°C, C: 25°C.

مینایی کاهش یافت. جدول ۲ و شکل ۹ نشان‌دهنده رابطه پارامترهای مدل میکائیلز-متن با تغییر در سطح اسانس مینایی افزوده شده (صفر، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی پی ام) بر سطح میوه در دمای ۴، ۱۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. همانطور که مشاهده می‌شود، افزایش سطح اسانس موجب کاهش هر دو پارامتر R_{max} و K_m شد.

۳-۳-۲- تأثیر حضور اسانس مینایی بر پارامترهای معادله میکائیلز-متن

همانطور که نتایج قسمت‌های پیشین نشان داد حضور اسانس مینایی موجب اثرگذاری بر نرخ تنفس گلایی رقم درگری با تغییر در غلظت گازها در فضای اتمسفر نگهداری شد. به طوری که نرخ تنفس در زمان نگهداری با افزایش سطح اسانس

Table 2 Michaelis-Menten parameters under *S. platyrrachis* essential oil treatment in different concentrations.

Temperature (°C)	Essential oil (ppm)	K_m (% v v ⁻¹)	R_{max} (ml.kg ⁻¹)	R^2
4	0	2.45	3.58	0.92
	125	2.01	3.17	0.91
	250	1.79	2.9	0.91
	500	1.75	2.8	0.89
10	0	3.25	4.73	0.96
	125	3.14	4.44	0.98
	250	3.02	4.12	0.97
	500	2.99	3.98	0.98
25	0	4.77	11.5	0.97
	125	4.64	10.7	0.96
	250	4.62	10.4	0.97
	500	4.56	9.95	0.97

شد گاز دی اکسیدکربن در آب و چربی محلول است و قابلیت انحلال آن با کاهش دما افزایش می‌یابد. بنابراین فعالیت ضد

از این رو شاهد اثر اسانس بر نرخ تنفس گلایی و در نتیجه تغییر در خصوصیات انتشار گاز بودیم. همانطور که قبلاً اشاره

گاز دی اکسید کربن افزایش یافته و موجب اثرگذاری بر خصوصیات انتشار گازی در بافت سطحی میوه می‌گردد.

میکروبی آن در دماهای کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد، بیشتر از دماهای بالاتر است [۱۶]. همچنین با افزایش غلظت اسانس مینایی بر سطح گلابی و افزایش میزان فاز روغنی آن، حالیت

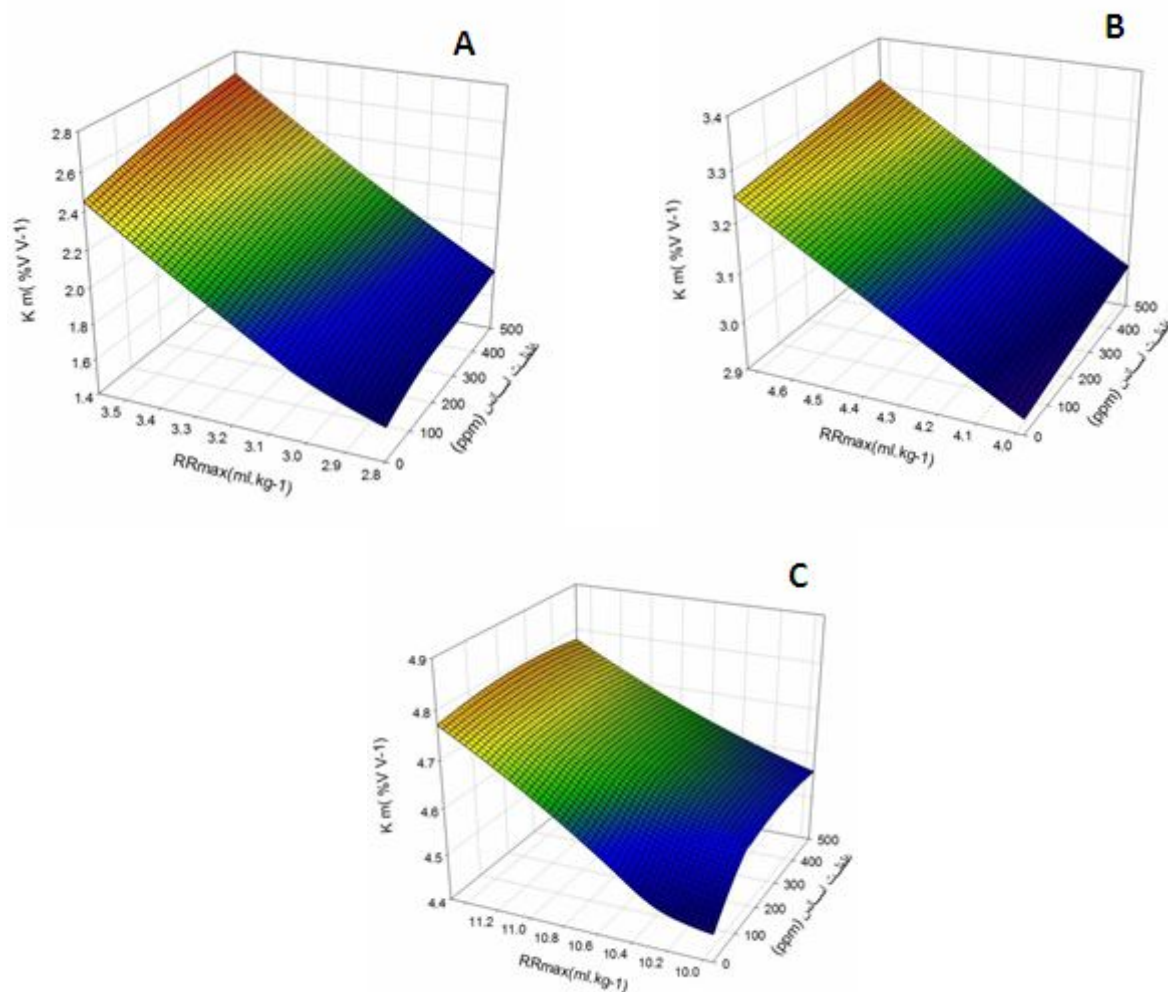


Fig 9 Michaelis-Menten parameters change using different *S. platyrachis* essential oil at 4°C (A), 10°C (B), and 25°C (C).

زیاد، سبب بروز تنفس بی‌هوازی در محصول و کاهش ماندگاری آن خواهد گردید [۲۹]. از این رو محاسبه میزان دقیق ترکیبات اتمفسر نگهداری میوه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در این پژوهش غلظت‌های گاز اکسیژن و دی‌اکسید کربن درون بسته‌بندی براساس حالت پایدار گازی محاسبه گردید. در نهایت با استفاده از معادلات ۹ و ۱۰ در دمای میانگین، بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده حاوی ۳/۷ درصد گاز اکسیژن، ۸/۱ درصد گاز دی‌اکسید کربن و مابقی گاز ازت به عنوان پرکننده برای گلابی رقم درگزی پیشنهاد شد.

۳-۳-۳- طراحی MAP بر اساس نرخ تنفس گلابی رقم درگزی در شرایط پایدار

افزایش ماندگاری محصولات غذایی به چندین عامل بستگی دارد: نوع ماده غذایی، کیفیت اولیه مواد خام، ترکیب گاز استفاده شده در بسته‌بندی، دمای انبار، نسبت حجمی گاز به محصول و ویژگی‌های مانع‌کننده ماده بسته‌بندی [۲۸]. همچنین رمز موفقیت روش بسته‌بندی تحت شرایط اتمسفر اصلاح شده، دانستن ترکیب گازی صحیح درون بسته‌بندی و استفاده از مواد پوششی مناسب است. انتخاب صحیح شرایط گازی سبب افزایش عمر پس از برداشت محصول می‌گردد و شرایط نامناسب مانند غلظت پایین اکسیژن یا دی‌اکسید کربن خیلی

- [5] Sousa-Gallagher, & M.J., Mahajan, P.V., 2013. Integrative mathematical modelling for MAP design of fresh-produce: Theoretical analysis and experimental validation. *Food Control*, 29, 444-450.
- [6] Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R., Frias, J.M., Brecht, J.K., & Chau, K.V., 2002, Modeling respiration rate of shredded Galega kale for development of modified atmosphere packaging. *Journal of Food Engineering*, 54, 299-307.
- [7] Hoseini, S.J., Falaki, M., Aboli, J., 2012, chemical degradation of essential oil of leaf and flower of *Sclerorhachis platyrachis* of Esfarayen using gas chromatography- mass spectra. *Journal of Quantum Chemistry and Spectroscopy*, 4, 10-16.
- [8] Torrieri, E., Mahajan P.V., Cavella, S., Gallagher, M.D.S., Oliveira, F.A.R. & Masi, P., 2009. Mathematical Modelling of Modified Atmosphere Package: An Engineering Approach to Design Packaging Systems for Fresh-Cut Produce. In: *Advances in modeling agricultural systems*. Edited by Papajorgji P.J., Pardalos P.M. Springer Science+Business Media, LLC, New York, USA.
- [1] [9] Lee, D.S., Hagggar, P.E., Lee, J., & 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.
- [10] Gomes, M.H., Beaudry, R.M., Almeida, D.P., & 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.
- [11] Benítez, S., Chiumenti, M., Sepulcre, F., Achaerandio, I., & 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.
- [12] Rodriguez-Aguilera, R., & Oliveira, J.C., 2009, Review of design engineering methods and applications of active and modified atmosphere packaging systems, *Food Engineering Reviews*, 1, 66-83.
- [13] Magness, J.R., & Diehl, H C., 1929, Investigations on the handling of Bartlett pears from Pacific coast districts (No. 1488-2016-123562).

۴- نتیجه گیری

نتایج نشان داد افزایش دما سبب افزایش نرخ تنفس و کاهش اثر مثبت اسانس بر کاهش این پارامتر شد. همچنین براساس نتایج مشخص شد پس از زمان تقریبی ۱۰۰ ساعت، حالت نسبی تعادلی تنفس ایجاد شد. گلابی رقم درگری در دمای ۴ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در محدوده کسر تنفس هوای بود. در حالیکه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد پس از طی زمان حدود ۱۱۰ ساعت و رسیدن غلظت گاز دی‌اکسید کربن به حدود ۲۳٪، کسر تنفسی آن از محدوده بحرانی عبور نمود. از سوی دیگر پارامتر K_m در معادله میکائیلز-متن با افزایش دما به صورت خطی افزایش یافت و R_{max} با رفتاری نمایی تغییر نمود. این در حالی است که افزایش سطح اسانس موجب کاهش هر دو پارامتر K_m و R_{max} شد. همچنین میان داده‌های تجربی و مقادیر تخمین زده شده توسط مدل، ضریب تعیین بیش از ۹۲٪ مشاهده شد. در نهایت بسته‌بندی حاوی ۳/۷٪ اکسیژن، ۸/۱٪ دی‌اکسید کربن و مابقی گاز ازت جهت بسته بندی گلابی رقم درگری پیشنهاد شد.

۵- منابع

- [1] Moalemiyan, M., & Ramaswamy, H.S., 2012, Quality Retention and Shelf-life Extension in Mediterranean Cucumbers Coated with a Pectin-based Film. *Journal of Food Research*, 1, 159-164.
- [2] Maleki, G., Sedaghat, N., Woltering, E.J., Farhoodi, M., & Mohebbi, M., 2018, Chitosan-limonene coating in combination with modified atmosphere packaging preserve postharvest quality of cucumber during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 1610-162.
- [3] Özgen, M., Palta, J.P., Smith, J.D., 2002, Ripeness stage at harvest influences postharvest life of cranberry fruit: physiological and anatomical explanations. *Postharvest Biology and Technology*, 24, 291-299.
- [4] Finnegan, E., Mahajan, P.V., O'Connell, M., Francis, G.A., & O'Beirne, D., 2013, Modelling respiration in fresh-cut pineapple and prediction of gas permeability needs for optimal modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 79, 47-53.

- [22] Marandi, R.J., Hassani, A., Ghosta, Y., Abdollahi, A.L.I., Pirzad, A., & Sefidkon, F., 2011, Improving postharvest quality of table grape cv. "rish baba" using *Thymus kotschyianus* and *Carum copticum* essential oils, *Journal of Food Safety*, 31(1), 132-139.
- [23] Guerzoni, M.E., Gardini, F., Corbo, M.E., Lanciotti, R., & Sinigaglia, M., 1997. Modelling of growth of microorganisms on minimally processed fruits and vegetables in relation to technological and environmental conditions. In: Proceeding of Joint Workshop COST 914-COST 915 "Nonconventional Methods for the Control of Postharvest Disease and Microbiological Spoilage", pp. 15-20.
- [24] Peppelenbos, H.W., & van't Leven, J., 1996, Evaluation of four types of inhibition for modelling the influence of carbon dioxide on oxygen consumption of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 7(1-2), 27-40.
- [25] McLaughlin, C. P., & O'beirne, D., 1999. Respiration rate of a dry coleslaw mix affected by storage temperature and respirator. *Journal of Food Science*, 64, 116-119.
- [26] Exama, A., Arul, J., Lencki, R., Lee, L.Z. & Toupin, C., 1993, Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, 58, 1365-1370.
- [27] Jacxsens, L., Devlieghere, F., De Rudder, T., & Debevere, J., 2000, Designing equilibrium modified atmosphere packages for fresh-cut vegetables subjected to changes in temperature. *LWT-Food Science and Technology*, 33(3), 178-187.
- [28] Phillips, C., 1996, Review: Modified Atmosphere Packaging and its effects on the microbiological quality and safety of produce. *International Journal of Food Science & Technology*, 31, 463-479.
- [29] Artés, F., Villaescusa, R., & Tudela, J.A., 2000b, Modified atmosphere packaging of pomegranate. *Journal of Food Science*, 65(7), 1112-1116.
- [14] Tindale, G.B., Trout, S.A., & Huelin, F.E., 1938, Investigations on the storage, ripening and respiration of pears, *Journal of The Department of Agriculture, Victoria*, 36, 1-36.
- [15] Porritt, S.W., 1964, The effect of temperature on postharvest physiology and storage life of pears. *Canadian Journal of Plant Science*, 44(6), 568-579.
- [16] O'Beirne, D., 1991, Modified atmosphere packaging of fruit and vegetables. In: Gormley, T.R. (Ed.), *Chilled Foods: The State of the Art*. Elsevier Applied Science, Barking, UK, pp. 183-199.
- [17] Song, Y., Vorsa, N., & Yam, K.L., 2002, Modeling respiration-transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry. *Journal of Food Engineering*, 53(2), 103-109.
- [18] Mahajan, P.V., Oliveira, F.A.R., Sousa, M.J., Fonseca, S.C., & Cunha, L.M., 2006, An interactive design of MA-Packaging for Fresh Produce. In: Hui, Y.H. (ed.) *Handbook of food science, technology, and engineering*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, chapter 119.
- [19] Aghdam, M.S., Asghari, M., Babalar, M., & Sarcheshmeh, M.A.A., 2016, Impact of salicylic acid on postharvest physiology of fruits and vegetables. In: Siddiqui, M.W. (ed), *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality*, Academic Press, pp. 243-268.
- [20] Jannati, M., Abdossi, V., & Mashhadi Akbar Boujar, M., 2012, Effect of calcium chloride and thyme essential oils application on some postharvest characteristics of strawberry fruit cv. Selva. *Modern Science of Sustainable Agriculture Journal (Special issue for horticultural crops)*, 2, 25-32.
- [21] Fatemi, S., Jafarpour, M., & 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.

Modeling respiration characteristics of pear (*Dargazi*) accompanied by *platyrachis S.* coating to design modified atmosphere packaging

Naeemi Gholi Mashhad, Sh. ¹, Haddad Khodaparast, M. H. ^{2*}, Sedaghat, N. ², Azizi, M. ³, Hoseini, F. ⁴

1. Department of International Campus Ferdowsi University of Mashhad

2. Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad

3. Department of Horticultural Science, Ferdowsi University of Mashhad

4. Research Department of Food Additives, Food Science and Technology Research Institute, ACECR-Khorasan Razavi

(Received: 2019/06/10 Accepted:2019/12/02)

In this study effect of temperature, O₂ concentration and storage time were investigated on respiration rate of uncoated and coated pear (*Dargazi* Cultivar) using *Sclerorhachis platyrachis* essential oil of 0, 125, 250, and 500 ppm. Mathematical model using Michaelis–Menten's equation, with the model constants described by means of an Arrhenius-type relationship was applied to predict respiration rate at various temperatures (4, 10, and 25 °C) and O₂ concentrations to design modified atmosphere packaging (MAP) of pear in order to extend its shelf-life. Results showed that all factors affected respiration rate of the pears but the influence of temperature was most pronounced. Increase in temperature led to increase of respiration rate and reduction of positive effect of essential oil on this parameter reduction. Moreover, after about 100 hours, respiration reached equilibrium. Respiratory quotient of Pears at 4 and 10 °C was on aerobic limit. However, at 25 °C, after 110 hours, and reaching CO₂ to 23%, respiratory quotient passed the critical point. Finally, package containing 3.7% O₂ + 8.1% CO₂ + 88.2% N₂ was suggested as an appropriate MAP for storing the pears (*Dargazi* cultivar).

Key words: Modeling, Modified atmosphere packaging, Pear, Respiration rate

* Corresponding author E-Mail Address: Khodaparast@um.ac.ir