

مدل سازی سینتیک تخریب ویتامین C خیار گلخانه‌ای تازه بر حسب تابعی از نوع پوشش خوراکی و زمان نگهداری

محسن مختاریان^۱، فاطمه کوشکی^۱، بهروز جنت^۲

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران
* نویسنده مسئول (mokhtarian.mo@riau.ac.ir)
۲- مرکز تحقیقات حلال، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، تهران، ایران

چکیده

ویتامین C (ال-آسکوربیک اسید) یک ماده مغذی بنیادی و یک ضداکسیدان بسیار مؤثر بوده که به‌عنوان یک نگهدارنده طبیعی در میوه‌ها (نظیر خیار گلخانه‌ای) عمل می‌نماید. با هدف حفظ ترکیبات زیست‌فعال (به‌ویژه ممانعت از تشکیل دهیدروآسکوربیک اسید) و جلوگیری از توسعه فساد، تأثیر نوع پوشش خوراکی (کنترل، صمغ شیرازی و صمغ شیرازی حاوی ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام اسانس نعنای فلفلی) و زمان نگهداری (۱، ۸ و ۱۶ روز)، روی سینتیک اکسیداسیون خودبه‌خودی ویتامین C و نقش ممانعت‌کنندگی آن روی بازداری از رشد باکتری/قارچ خیار گلخانه‌ای در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد ارزیابی شد. نتایج نشان داد که نرخ تغییرات تخریب ویتامین C خیار گلخانه‌ای طی دوره نگهداری از واکنش سینتیک مرتبه صفر پیروی می‌نماید (بالاترین نسبت $\frac{R^2}{P(\%)}$). کمترین نرخ توسعه باکتری‌های مزوفیل (۶/۹۵)، کپک (۳/۲۱) و مخمر (۶/۰۴) بر حسب لگاریتم واحد تشکیل‌دهنده کلنی در گرم در خیار گلخانه‌ای بعد از ۱۶ روز نگهداری، در نمونه صمغ شیرازی حاوی اسانس نعنای فلفلی مشاهده شد که متناظر با کمترین نرخ تخریب ویتامین C است. مقادیر نیمه‌عمر ($t_{1/2}$) آهنگ تخریب ویتامین C نشان داد که بهترین مدت زمان نگهداری خیار گلخانه‌ای (در شرایط مورد مطالعه) با هدف حفظ بیشترین ویژگی‌های تغذیه‌ای حدود ۱۰ روز بود. به‌طور کلی، یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند جهت پایش عمر ماندگاری خیار گلخانه‌ای نگهداری‌شده در انبار سرد کاربردی باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸
تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۱/۱۱/۰۹

واژه‌های کلیدی

پوشش خوراکی فعال
خیار گلخانه‌ای
سینتیک اکسیداسیون ویتامین C
صمغ شیرازی
نعنای فلفلی



مقدمه

خیار گلخانه‌ای^۱ از خانواده کدوئیان^۲، یکی از پر مصرف‌ترین صیفی‌جات مهم اقتصادی در سراسر جهان است (Mohammadi *et al.*, 2015). براساس نتایج سازمان خواربار کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO)، تولید جهانی خیار در سال ۲۰۲۰، بیش از ۱۰۰ میلیون تن گزارش گردید. تولیدکنندگان جهانی عمده این محصول، کشورهای چین (۹۰٪ درصد)، روسیه (۱/۷۱٪ درصد)، ایران (۱/۵٪ درصد)

درصد)، ژاپن (۱/۴۲٪ درصد)، اسپانیا (۰/۵٪ درصد)، قزاقستان (۰/۴۴٪ درصد) و مکزیک (۰/۳۶٪ درصد) بشمار می‌رود. باتوجه به آمار یادشده، ایران به ترتیب به‌عنوان سومین کشور تولیدکننده خیار در قاره آسیا و جهان مطرح است (FAO, 2018). مدت ماندگاری این محصول کوتاه بوده (کمتر از ۱۴ روز) و به شدت فسادپذیر است و معمولاً با افت ارزش تغذیه‌ای (به‌ویژه افت ویتامین C) همراه است (میانگین مقدار ویتامین C میوه‌ها شامل خیار پوست‌شده

² Cucurbitaceae

¹ Cucumis sativus

تخریب ویتامین C (حدود ۴ تا ۹ درصد) این محصول از واکنش مرتبه اول تبعیت می‌نماید (Nkwocha *et al.*, 2018). در پژوهشی دیگر سینتیک تخریب ویتامین C در آب‌میوه توت‌فرنگی تازه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که نرخ تغییرات کاهش ویتامین C از واکنش مرتبه صفر پیروی می‌نماید (Nkwocha *et al.*, 2018).

از روش‌های نگهداری مختلفی می‌توان برای حفظ کیفیت خیار گلخانه‌ای استفاده نمود که شامل روش‌های نگهداری در دمای پایین، تیمار شیمیایی (سدیم متابی‌سولفیت، سیتریک اسید یا پراکسید هیدروژن، EDTA و هیپوکلریت سدیم)، پرتودهی با اشعه گاما، پرتودهی با نور UV-C، تیمار ازن‌زنی، بسته‌بندی با پوشش‌های خوراکی (نظیر کربوکسی‌متیل سلولز (CMC^۲)، صمغ شیرازی، کیتوزان و غیره)، استفاده از کشت‌های زیستی پروبیوتیکی، انبار با اتمسفر کنترل شده (CAS^۳) و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (MAP^۴) می‌باشند (Alegre *et al.*, 2011; Lin *et al.*, 2017; Murray *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2015). در این خصوص، برخی از مطالعه‌ها اثر ممانعت‌کنندگی اسانس‌های روغنی (EOs^۵) و ترکیبات آنها را روی فساد مرتبط با غذا و میکروارگانیزم‌های پاتوژن (بیماری‌زا) نشان داده‌اند (Mohammadi *et al.*, 2015). در میان انواع مختلف اسانس‌های روغنی، اسانس روغنی نعناع فلفلی^۶ به‌عنوان یک مهارکننده رشد گونه‌های مختلف قارچی (نظیر پاتوژن‌های پس از برداشت)، رواج یافته است. فعالیت ضد میکروبی اسانس یادشده به‌طور کلی به‌دلیل ترکیبات ایزو-منتول و منتون است (Mokhtarian *et al.*, 2022).

در سال‌های اخیر، تمایل زیادی به استفاده از صمغ‌های طبیعی (به‌ویژه صمغ شیرازی) جهت تولید پوشش‌های خوراکی فعال (که با افزودن ترکیبات زیست‌فعال نظیر اسانس‌های گیاهان دارویی تولید می‌شود) صورت گرفته است. به‌طور کلی این تمایل به‌دلیل ایمن بودن، زیست‌سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیر بودن و بومی بودن است (Mohammadi *et al.*, 2015). بادام کوهی^۷، درخت یا درختچه‌ای از خانواده گلسرخیان^۸ است که در ایران به‌طور وحشی و خودرو در مناطق ایرانی-تورانی و زاگرس می‌روید.

خام، پرتقال، آناناس، کدو مسمایی، کیوی، انار، گریپ فروت، فلفل چیلی قرمز خام، گوجه‌فرنگی خشک‌شده به روش آفتابی، نارنگی، خربزه درختی یا پاپایا و خرمالو به‌ترتیب حدود ۴، ۵۳، ۴۸، ۳۴، ۱۰۶، ۱۰، ۳۸، ۱۴۴، ۳۹، ۳۱، ۶۱ و ۶۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم است) (FAO, 2018). بنابراین محصول را گسترش داد. ازدست‌رفتن کیفیت این محصول به‌صورت‌های نرم‌شدن بافت، آفت ارزش تغذیه‌ای، تخریب رنگ (قهوه‌ای‌شدن)، ازدست‌دادن آب و درنهایت فساد قارچی، آشکار می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2015).

ویتامین C، یک ترکیب مغذی است که به‌دلیل داشتن اثر ضد اکسیدانی، ارزشمند است. این ترکیب یک ویتامین محلول در آب بوده و برای بدن ضروری است. ویتامین C برای سنتز کولاژن، یک ترکیب ساختاری مهم عروق خونی، تاندون‌ها (زردپی)، رباط‌ها و استخوان مورد نیاز است. همچنین این ترکیب برای سنتز انتقال‌دهنده عصبی نوراپی‌نفرین^۱ (در عملکرد طبیعی مغز بحرانی بوده و روی خلق‌وخو تأثیر می‌گذارد) مهم است (Nkwocha *et al.*, 2018). ویتامین C به‌آسانی تخریب می‌شود و مطالعه‌های گسترده‌ای روی نرخ تخریب این ویتامین در مواد غذایی و میوه‌ها انجام شده است و مدل‌های سینتیکی مختلفی برای پیش این ویتامین، برازش شده است. با این وجود، مکانیزم تخریب ویتامین C مختص یک سیستم خاص بوده که به پارامترهای مختلفی نظیر دما، فعالیت آب، pH و یون‌های فلزی وابسته است (Masamba *et al.*, 2013; Nkwocha *et al.*, 2018). این ویتامین زمانی که محصول در شرایط جابه‌جایی و نگهداری نامساعد قرار گیرد، خیلی حساس به تخریب است، که معمولاً میزان آفت آن با طولانی‌شدن زمان نگهداری، دماهای بالا، رطوبت نسبی کم، آسیب فیزیکی و آسیب سرمایی، افزایش می‌یابد (Lee & Kader, 2018; Nkwocha *et al.*, 2000). ویتامین C به‌عنوان یک ماده مغذی حساس به حرارت، در مواد غذایی به رسمیت شناخته شده است، بنابراین، از آن به‌عنوان یک شناساگر آفت سایر ویتامین‌ها نیز استفاده می‌گردد (Nkwocha *et al.*, 2018). گروهی از محققین مدل‌سازی سینتیک تخریب ویتامین C آب پرتقال را بررسی و اعلام نمودند که نرخ

⁶ *Mentha piperita* L.

⁷ *Amygdalus scoparia* Spach

⁸ *Rosaceae*

¹ Norepinephrine

² Carboxymethyl cellulose

³ Control atmosphere storage (CAS)

⁴ Modified atmosphere packaging (MAP)

⁵ Essential oil

آزمایش‌ها، خیارها مورد بازرسی اولیه قرار گرفتند و نمونه‌هایی با وضعیت ظاهری مشابه و فاقد آسیب مکانیکی انتخاب شدند. به‌منظور به‌حداقل‌رساندن خطاها، نمونه‌هایی با اندازه یکنواخت و در محدوده میانگین جامعه آماری انتخاب شدند (میانگین وزن، طول و قطر نمونه‌های انتخابی به ترتیب 160 ± 1 گرم، $16/5 \pm 3$ و $2/5 \pm 0/5$ سانتی‌متر بود). همچنین، صمغ شیرازی مورد استفاده جهت انجام این مطالعه از شرکت ریجان گام پارسیان خریداری شد. به‌علاوه، برگ‌های نعنای فلفلی خشک به‌عنوان ماده خام اولیه از استان فارس (شیراز) تهیه شد.

استخراج اسانس، شناسایی، کمی‌سازی ترکیبات فرار نعنای فلفلی

استخراج اسانس از برگ‌های نعنای فلفلی خشک‌شده توسط دستگاه کلونجر (تقطیر با آب) صورت گرفت. بدین‌منظور ۲۰۰ گرم نمونه آزمایشی (برگ نعنای فلفلی خشک) به‌صورت دقیق توزین و به بالن ژوژه حاوی ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و فرایند استخراج به‌مدت ۲ ساعت ادامه یافت. عمل آب‌گیری اسانس استحصال‌شده در مجاورت سولفات سدیم بدون آب (Na_2SO_4) انجام شد و سپس اسانس‌های استخراج‌شده در شیشه‌های قهوه‌ای کوچک درب‌بندی و در فریزر با دمای -18 درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمایش‌های بعدی نگهداری گردید (به‌دلیل حساس بودن اسانس نسبت به نور، اکسیژن و دما). بازده استخراج اسانس در سه تکرار اندازه‌گیری شد و نتیجه باتوجه‌به مواد خشک نمونه آزمایشی برحسب (میلی‌لیتر/کیلوگرم ماده خشک) گزارش شد (Mokhtarian et al., 2022).

دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) (Agilent ۶۸۹۰)، ساخت آمریکا) متصل‌شده به دستگاه طیف‌سنج جرمی (MS) (Agilent ۵۹۷۳N، ساخت آمریکا)، مجهز به ستون BPX۵ (۰/۲۵ میلی‌لیتر \times ۳۰ متر و ضخامت دیواره ۰/۲۵ میکرومتر)، جهت استخراج، شناسایی و کمی‌سازی ترکیبات فرار اسانس استخراج‌شده از نعنای فلفلی به‌کاررفت. دمای ستون GC-MS در 50 درجه سانتی‌گراد برای 5 دقیقه تنظیم شد. سپس به‌تدریج با نرخ 5 (درجه سانتی‌گراد/دقیقه) تا 250 درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و درنهایت به 300 درجه سانتی‌گراد رسید. در مرحله بعد، اسانس نعنای فلفلی (۰/۱ میکرولیتر) به دستگاه تزریق شد. دمای تزریق و شناسایی به ترتیب 250 و

از تنه و شاخه‌های این درخت نوعی صمغ تراوش می‌شود که آن را صمغ شیرازی (صمغ فارسی یا زدو) می‌نامند (Rahimi & Abbasi, 2014). در پژوهش حاضر نیز از صمغ یادشده به‌دلیل قیمت پایین در مقیاس بالا، بومی‌بودن و زیست‌تخریب‌پذیربودن، برای پوشش‌دهی خیار گلخانه‌ای استفاده شد. در مطالعه‌ای تأثیر پوشش‌های خوراکی کیتوزان و نانوکیتوزان درهمن‌تنیده در اسانس روغنی دارچین، روی کیفیت خیار نگهداری‌شده در انبار سرد مورد مطالعه قرار گرفت. میزان آفت وزن میوه‌های تیمار شده با پلیمرهای کیتوزان و نانوکیتوزان به ترتیب $5/49$ و $8/47$ درصد گزارش شد. میزان محتوای کلروفیل کل میوه‌های پوشش‌دهی‌شده در پایان دوره نگهداری، بالاتر بود که با ممانعت مؤثرتر رشد قارچ‌ها (کپک و مخمر) همراه بود (Rahimi & Abbasi, 2014). در پژوهشی دیگر، تأثیر عصاره بره‌موم و روغن علف لیمو^۱ روی افزایش عمر ماندگاری خیار مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که استفاده ترکیبی از ترکیبات زیست‌فعال به‌همراه بسته‌بندی با اتمسفر کنترل‌شده تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در افزایش ماندگاری خیار تا 20 روز دارد (Rahimi & Abbasi, 2014).

تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای درخصوص سینتیک تخریب ویتامین C محصولات کشاورزی و مواد غذایی مختلف صورت گرفته است. بااین‌حال، پژوهش‌های اندکی درخصوص مکانیزم تخریب این ویتامین و اثر آن در ممانعت از فساد خیار گلخانه‌ای گزارش شده است. لذا در پژوهش حاضر اثر هم‌زمان پوشش‌دهی خوراکی و اسانس نعنای فلفلی به‌عنوان یک سیستم هاردل (سیستم مرکب) جهت گسترش ماندگاری و ممانعت از تخریب ویتامین C مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی ماده اولیه

خیار گلخانه‌ای مورد استفاده جهت انجام این مطالعه، از یک تولیدکننده خیار محلی واقع در استان تهران خریداری (فصل بهار) گردید. خیارهای برداشت‌شده در مدت زمان کوتاهی (۲ ساعت) به آزمایشگاه منتقل و در یخچال (FRS-۲۴۱۱S، Daewoo، ساخت کره) به ترتیب در دما و رطوبت نسبی 4 درجه سانتی‌گراد و 90 درصد، تا شروع آزمون‌ها نگهداری شدند (حداکثر به مدت 2 روز). در شروع

¹ Lemongrass

بعد از اتمام فرایند پوشش‌دهی، نمونه‌ها در بسته‌بندی‌هایی از جنس پلی‌اتیلن قرار گرفتند و به مدت ۱۶ روز (با فواصل نمونه‌برداری ۱، ۸ و ۱۶ روز) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. لازم به ذکر است که در تمامی پوشش‌های یادشده (پوشش‌های I تا III)، جهت استریل‌کردن پوشش‌ها از اتوکلاو (Reyhanteb، RT-۱، ساخت ایران) با شرایط (فشار ۱ اتمسفر، دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۵ دقیقه) استفاده شد (Mohammadi *et al.*, 2016).

محتوای ویتامین C

میزان ویتامین C نمونه‌های آزمایشی به روش تیتراسیون توسط شناساگر رنگی ۶،۲-دی‌کلروفل‌ایندوفنل^۳ صورت گرفت (Sogvar *et al.*, 2016).

مدل‌سازی واکنش اکسیداسیون ویتامین C و تخمین عمر

ماندگاری خیار گلخانه‌ای طی نگهداری

مکانیزم اکسایش ویتامین C و تشکیل دهیدروآسکوربیک اسید (DHAA^۴) در خیار گلخانه‌ای، مهم‌ترین واکنش تخریبی بوده که منجر به کاهش کیفیت فراورده طی دوره نگهداری می‌شود. جهت تعیین مرتبه واکنش اکسیداسیون و نیز تخمین عمر ماندگاری خیار گلخانه‌ای، مقادیر غلظت ویتامین C طی دوره نگهداری پایش شد. رابطه (۱) واکنش سینتیک کلی تخریب ویتامین C را نشان می‌دهد. رابطه (۱)

$$\frac{dC}{dt} = k[C]^n$$

در رابطه (۱)، C غلظت ویتامین C طی دوره نگهداری (میلی‌گرم/۱۰۰ گرم)، k ثابت سرعت واکنش (واحد بسته به مرتبه واکنش متغیر است، جدول (۱))، n مرتبه واکنش (بدون بُعد) و t زمان نگهداری (روز) است (Tavakolipour *et al.*, 2017). جدول (۱) مدل‌های مختلف مورد استفاده جهت نشان‌دادن تغییرات کاهشی غلظت ویتامین C خیارهای گلخانه‌ای مختلف طی دوره نگهداری و یافتن مرتبه واکنش اکسیداسیون (صفر، اول و دوم) را نشان می‌دهد.

۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. گاز هلیوم با خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد و شدت جریان حجمی ۱ دقیقه/میلی‌لیتر به‌عنوان گاز حامل در دستگاه استفاده شد. در نهایت، شاخص کوواتس (KI)، شاخص بازداری GC-MS و شاخص‌های طیف جرمی، جهت شناسایی اکثر ترکیبات موجود در اسانس نعنای فلفلی به‌کار گرفته شد (Mokhtarian *et al.*, 2022).

آماده‌سازی پوشش خوراکی، پوشش‌دهی و بسته‌بندی

تیمارهای مورد استفاده جهت پوشش‌دهی خیار گلخانه‌ای و نحوه آماده‌سازی آنها به‌صورت زیر انجام شد:

پوشش I (فاقد پوشش): نمونه‌های آزمایشی در آب‌مقطر استریل (با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲ دقیقه غوطه‌ور شدند. سپس رطوبت سطحی نمونه‌ها توسط آون جابه‌جایی هوای داغ (Memmert، PA ۴۰۰ UNE، ساخت آلمان) در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حذف گردید (Jiang *et al.*, 2013; Nasiri *et al.*, 2017).

پوشش II (پوشش تهیه‌شده با صمغ شیرازی): محلول آبی ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی) صمغ شیرازی تهیه شد. گلیسرول با غلظت ۰/۷۵ درصد (حجمی/حجمی) به‌عنوان پلاستی‌سایزر^۱ (نرم‌کننده) جهت بهبود خواص مکانیکی و انعطاف‌پذیری پوشش به محلول پوشش اضافه شد. سپس محلول آماده‌شده به مدت ۳۰ دقیقه توسط همزن مغناطیسی (۲۵۰ دور/دقیقه) همگن شد. در مرحله بعد، نمونه‌های آزمایشی (۶ عدد خیار) به مدت ۲ دقیقه در محلول همگن‌شده استریل، فروری شدند. در پایان، رطوبت سطحی نمونه‌های آزمایشی توسط آون جابه‌جایی هوای داغ در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حذف گردید (Dehghani *et al.*, 2018).

پوشش III (پوشش تهیه‌شده با صمغ شیرازی حاوی اسانس نعنای فلفلی): محلول آبی ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی) صمغ شیرازی مشابه پوشش (II) تهیه شد. سپس بعد از استریل‌کردن محلول پوشش، مقدار ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام اسانس نعنای فلفلی به آن اضافه شد. سایر مراحل مشابه تیمار II دنبال گردید (Noshirvani *et al.*, 2015). لازم به ذکر است که مقدار اسانس اضافه‌شده براساس حداقل غلظت کشندگی قارچ (MFC^۲) و ارزیابی حسی مقدماتی انتخاب گردید (Noshirvani *et al.*, 2015).

^۴ Dehydroascorbic acid (DHAA)

^۱ Plasticizer

^۲ Minimum fungicidal concentration

^۳ 2,6-Dichlorophenolindophenol (DCPIP)

جدول ۱- خلاصه حالت‌های توابع کیفی مختلف و زمان‌های نیمه عمر برای واکنش‌های مرتبه مختلف

مرتبه واکنش	حالت دیفرانسیلی	حالت انتگرالی*	زمان نیمه عمر ($t_{1/2}$)	واحدهای ثابت واکنش (k)
صفر	$\frac{dC}{dt} = -k_0$	$[C] = [C_0] - k_0 t$	$t_{1/2} = \frac{C_0}{2k_0}$	روز/میلی گرم/گرم (۱۰۰ گرم)
اول	$\frac{dC}{dt} = -k_1 [C]^1$	$\ln[C] = \ln[C_0] - k_1 t$	$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k_1}$	$^{-1}$ (روز)
دوم	$\frac{dC}{dt} = -k_2 [C]^2$	$\frac{1}{[C]} = \frac{1}{[C_0]} + k_2 t$	$t_{1/2} = \frac{1}{k_2 C_0}$	$^{-1} \times$ (روز) $^{-1}$ (میلی گرم/گرم (۱۰۰ گرم))

* در این مقاله، شرایط ($C > C_0$) برقرار بود.

ویتامین C و میکروبیولوژیکی) با استفاده از آزمایش فاکتوریل صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال خطای ۹۵ درصد انجام شد. جهت تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SAS نسخه ۹.۱.۳ استفاده گردید. تمام آزمون‌های کیفی در ۳ تکرار صورت گرفت و نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شد.

نتایج و بحث

کارایی استخراج اسانس

کارایی (بازده) استخراج و مقدار ترکیبات مؤثره اسانس‌های روغنی اکثر گیاهان آروماتیک (معطر) به شدت تحت تأثیر فاکتورهای بوم‌مونه^۴، فنوفاز^۵، فاکتورهای محیطی شامل دما، رطوبت نسبی، شدت تابش و دوره نوری^۶ (Chauhan et al., 2009; Fahlén et al., 1997)، ژنوتیپ و شرایط آگرونومی (زرعی) نظیر زمان برداشت، سن گیاه و تراکم محصول (Chauhan et al., 2009; Mokhtarian et al., 1994) و خشک کردن (Marotti et al., 2011; Rocha et al., 2022) است. طبق یافته‌های پژوهش حاضر مشخص گردید که میزان بازده استخراج اسانس از برگ نعناع فلفلی معادل $9/4 \pm 0/104$ (میلی لیتر/کیلوگرم) است. گروهی از پژوهشگران، بازده اسانس روغنی نعناع فلفلی را تقریبی $6/4$ (میلی لیتر/کیلوگرم ماده خشک) تعیین نمودند که یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می‌نماید (Singh et al., 2015). در مطالعه‌ای دیگر، مقدار بازده اسانس روغنی نعناع برای گونه‌های مختلف نعناع بین $0/2$ و $5/4$ (میلی لیتر/کیلوگرم) گزارش نمودند (de Sousa Barros et al., 2015).

بهترین مدل تعیین کننده مرتبه واکنش توسط ضریب تبیین (R^2)، (Tavakolipour et al., 2017)، و مدول میانگین انحراف نسبی^۱ ($P(\%)$)، (Tavakolipour et al., 2017)، تعیین شد. به علاوه، جهت برازش داده‌ها از نرم افزار Microsoft Excel نسخه ۲۰۰۷ استفاده شد.

آزمون‌های میکروبی

شمارش میکروبی نمونه‌های آزمایشی (شمارش کلی باکتری‌ها، کپک و مخمر) به سرعت بعد از زمان‌های نگهداری ۱، ۸ و ۱۶ صورت گرفت. ۱۰ گرم از نمونه آزمایشی با ۹۰ میلی لیتر آب استریل (حاوی ۰/۱ درصد پپتون)، به مدت ۱ دقیقه زیر هود لامینار (Jal-Teb، ساخت ایران) یکنواخت شد. سپس مجموعه‌ای از نمونه‌های رقیق شده سریالی آماده و با استفاده از کشت سطحی، کشت صورت گرفت. در نهایت، محیط کشت داده شده مناسب برای شمارش استفاده شد (Joukar et al., 2017).

برای شمارش کلی باکتری‌ها از محیط کشت پلیت کانت آگار (PCA^۲) استفاده شد و کلنی‌های باکتری بعد از ۲ روز گرم‌خانه‌گذاری در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد شمارش شد. همچنین برای شمارش کپک‌ها و مخمرها از محیط کشت سابوریوید دکستروز آگار (SDA^۳) استفاده گردید و بعد از کشت، پلیت‌ها به مدت ۵ تا ۷ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌خانه‌گذاری شد. بعد از اتمام زمان گرم‌خانه‌گذاری، پلیت‌های دارای تعداد ۱۰ تا ۳۰۰ عدد کلنی، انتخاب و مورد شمارش قرار گرفت. سپس تعداد باکتری‌های شمارش شده برحسب لگاریتم واحد تشکیل دهنده کلنی در گرم بیان شدند (Mohammadi et al., 2016).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها (داده‌های مربوط به آزمون‌های

⁴ Ecotype

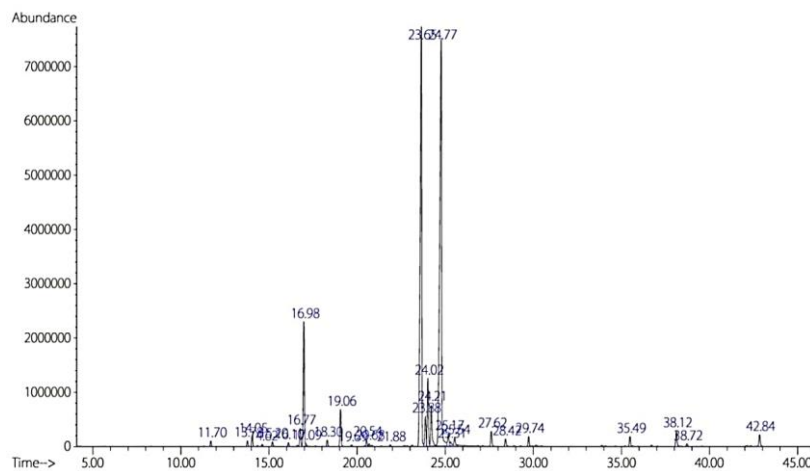
⁵ Phenophases

⁶ Photoperiod

¹ Mean relative deviation modulus

² Plate Count Agar (PCA)

³ Sabouraud dextrose agar (SDA)



شکل ۱- کروماتوگرام به دست آمده از تزریق اسانس استحصال شده از اندام‌های هوایی نعناع فلفلی خشک به دستگاه GC-MS

آنها مقدار منتول و ایزو-منتول نعناع رقم ژاپنی (*Mentha canadensis*) را به ترتیب ۴۶/۹۸ و ۲۹/۰۷ درصد گزارش نمودند (de Sousa Barros *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای دیگر مهم‌ترین مونوترپن‌های اکسیژن‌دار (OMT^۴) شناسایی شده در اسانس ارقام مختلف نعناع را منتول (بین ۳۸ و ۶۵ درصد) و ایزو-منتول (بین ۵/۳ و ۵/۷ درصد) گزارش نمودند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (Gracindo *et al.*, 2006). فعالیت ضدباکتریایی اسانس نعناع فلفلی به ترکیبات شیمیایی عمده آن (به‌ویژه مونوترپن‌های اکسیژن‌دار) نسبت داده شده است. همچنین، اثرات ضد میکروبی اسانس یادشده می‌تواند به مکانسیم‌های عملکرد آن در سطح غشای سیتوپلاسمی مرتبط باشد. در واقع، اسانس نعناع فلفلی به‌طور انتخابی جذب شده و با عملکرد غشای سلول بیولوژیکی که شامل تخریب و ازدست‌دادن یکپارچگی غشا می‌شود، تداخل می‌کند و باعث آسیب به فرایندهای ضروری برای بقای سلول می‌شود. به‌علاوه، گزارش‌های پیشین نشان داد که بیشترین تأثیر اسانس نعناع فلفلی روی باکتری‌های گرم مثبت است که به‌احتمال به‌دلیل ساختار غشای سلولی است. در حقیقت، باکتری‌های گرم منفی دارای یک غشای اضافی هستند که محافظت مضاعفی از آنها در برابر عوامل سمی و ترکیبات آب‌گریز می‌کند. با این حال، عدم وجود این ساختار در باکتری‌های گرم مثبت، آنها را به حمله‌های عوامل خارجی حساس می‌کند (Gracindo *et al.*, 2006).

ترکیبات فرار اسانس روغنی نعناع فلفلی و ویژگی‌های ضد میکروبی آن

اثرات سودمند متعددی به گیاه دارویی نعناع فلفلی نسبت داده شده است. فهرستی از اعمال فیزیولوژیکی براساس مدل‌های آزمایشگاهی، حیوانی و مطالعه‌های انسانی شامل ضداکسیدانی، ضدتومور، ضدباکتری، ضدآلرژی، تعدیل‌کننده ایمنی^۱ و اثرات سودمند بر دستگاه گوارش می‌باشند (de Sousa Barros *et al.*, 2015). نتایج شناسایی، کمی‌سازی ترکیبات فرار اسانس استخراج شده از اندام‌های هوایی نعناع فلفلی به دستگاه GC-MS، در شکل (۱) و جدول (۲) گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، حدود ۳۸ ترکیب فرار در اسانس نعناع فلفلی شناسایی شد که ۹۹/۵ درصد از طیف ترکیبات فرار کل موجود در اسانس را ارائه می‌دهند. طبق جدول (۲)، ایزو-منتول (۳۸/۶۸ درصد) و منتون (۳۳ درصد) دو ترکیب اصلی شناسایی شده در اسانس نعناع فلفلی بود. در ادامه، ترکیبات ۱،۸-سینئول (۷/۳ درصد)، منتوفوران (۱/۷۴ درصد)، ایزو-منتون (۳/۸۹ درصد)، منتول (۲/۹۱ درصد)، سیس-سابین هیدرات^۲ (۲/۱۴ درصد) و -لیمونن (۱/۰۷ درصد) بیشترین سهم ترکیبات فرار اسانس نعناع فلفلی را تشکیل می‌دهند. گروهی از محققان گزارش نمودند که فراوان‌ترین اسانس‌های روغنی گونه‌متنا^۳ شامل لیمونن، ایزومنتون، منتول، منتوفوران، د-نئو ایزومنتول، ۱،۸-سینئول (اُتوکالیپتول)، د-کارون، لینالول، لینالیل استات، پی‌پری‌تنون اکسید و پولگون هستند. همچنین

^۳ *Mentha*

^۴ Oxygenated monoterpenes (OMT)

^۱ Immunomodulating

^۲ cis-Sesquisabinene hydrate

جدول ۲- نمایه مهم‌ترین ترکیبات شیمیایی شناسایی شده در اسانس حاصل از برگ‌های نعناع فلفلی توسط دستگاه GC-MS

ردیف	ترکیب	شاخص کووات (KI)	زمان بازداری (RT) (دقیقه)	مقدار (درصد)
۱	α -Pinene	۹۳۵	۱۱/۷۰	۰/۳۱
۲	Sabinene	۹۷۶	۱۳/۷۸	۰/۳۲
۳	β -Pinene	۹۸۱	۱۴/۰۵	۰/۵۶
۴	β -Myrcene	۹۹۲	۱۴/۶۱	۰/۱۲
۵	3-Octanol	۱۰۰۴	۱۵/۲۰	۰/۲۷
۶	α -Terpinene	۱۰۲۱	۱۶/۱۰	۰/۲۲
۷	para-Cymene	۱۰۳۱	۱۶/۶۰	ناچیز
۸	D-Limonene	۱۰۳۴	۱۶/۷۷	۱/۰۰±۰/۷/۰۰
۹	1,8-Cineole (Eucalyptol)	۱۰۳۸	۱۶/۹۸	۷/۰۰±۳/۰۱
۱۰	Z- β -Ocimene	۱۰۴۰	۱۷/۰۹	ناچیز
۱۱	E- β -Ocimene	۱۰۵۱	۱۷/۶۵	ناچیز
۱۲	γ -Terpinene	۱۰۶۳	۱۸/۳۰	۰/۳۷
۱۳	cis-Sabinene hydrate	۱۰۷۸	۱۹/۰۶	۲/۰۰±۱۴/۰۰
۱۴	δ -Terpinene (Terpinolene)	۱۰۹۰	۱۹/۶۸	۰/۱۰
۱۵	Linalool	۱۱۰۷	۲۰/۵۴	۰/۳۷
۱۶	trans-Sabinene hydrate	۱۱۱۰	۲۰/۶۸	۰/۱۶
۱۷	cis-para-menth-2-en-1-ol	۱۱۳۴	۲۱/۸۸	۰/۱۱
۱۸	Isopentyl isovalerate	۱۱۱۳	۲۰/۸۵	ناچیز
۱۹	Isopulegol	۱۱۵۹	۲۳/۱۳	ناچیز
۲۰	Menthone	۱۱۶۹	۲۳/۶۵	۳۳/۰۰±۰/۰۰
۲۱	Menthofuran	۱۱۷۴	۲۳/۸۸	۱/۰۰±۷۴/۰۰
۲۲	iso-Menthone	۱۱۷۷	۲۴/۰۲	۳/۰۰±۸۹/۰۰
۲۳	Menthol	۱۱۸۱	۲۴/۲۱	۲/۰۰±۹۱/۰۰
۲۴	iso-Menthol	۱۱۹۲	۲۴/۷۵	۳۸/۰۰±۶۸/۰۰
۲۵	neoiso-Menthol	۱۲۰۰	۲۵/۱۷	۰/۸۴
۲۶	α -Terpineol	۱۲۰۷	۲۵/۵۳	۰/۵۸
۲۷	Pulegone	۱۲۵۲	۲۷/۶۲	۰/۹۴
۲۸	Piperitone	۱۲۶۹	۲۸/۴۲	۰/۵۰
۲۹	neo-Menthyl acetate	۱۲۷۹	۲۸/۹۱	ناچیز
۳۰	Menthyl acetate	۱۲۹۷	۲۹/۷۴	۰/۵۸
۳۱	Carvacerol	۱۳۰۶	۳۰/۱۶	ناچیز
۳۲	iso-Menthyl acetate	۱۳۱۳	۳۰/۴۷	ناچیز
۳۳	β -Bourbonene	۱۳۹۰	۳۳/۸۹	ناچیز
۳۴	E-Caryophyllene	۱۴۲۸	۳۵/۴۹	۰/۶۵
۳۵	Z- β -Farnesene	۱۴۵۷	۳۶/۷۱	ناچیز
۳۶	Germacrene D	۱۴۹۱	۳۸/۱۲	۰/۹۵
۳۷	Bicyclogermacrene	۱۵۰۵	۳۸/۷۲	۰/۱۸
۳۸	Viridiflorol	۱۶۱۰	۴۲/۸۴	۰/۸۱
-	Total Identified	-	-	۹۹/۰۰±۶۷/۰۰

محتوای ویتامین C

فعال اکسیژن (ROS^1) در میوه‌ها و سبزی‌ها ممانعت می‌نماید (Nasiri et al., 2017). نتایج مقایسه میانگین تغییرات ویتامین C خیار گلخانه‌ای طی ۲ هفته نگهداری

ویتامین C یک ترکیب محلول در آب و ضد اکسیدان قدرتمند است که از تخریب‌های ایجاد شده توسط گونه‌های

¹ Reactive oxygen species (ROS)

پوشش خوراکی کیتوزان و اسید سالسیلیک و نیز دمای نگهداری پایین‌تر (۲ درجه سانتی‌گراد) نسبت به پژوهش حاضر است. با این حال، در پژوهش حاضر به چگونگی تأثیر پوشش خوراکی در ممانعت از تخریب ویتامین C اشاره‌ای نشده است (Nasiri et al., 2017). حضور اکسیژن می‌تواند موجب تخریب ویتامین C گردد. با این حال، به‌کارگیری پوشش خوراکی به‌دلیل ممانعت از تماس و انتشار گاز اکسیژن، می‌تواند سبب حفظ ویتامین C شود (Nasiri et al., 2017).

مدل‌سازی سینتیک تخریب ویتامین C

به‌منظور به‌دست‌آوردن شرایط بهینه نگهداری خیار گلخانه‌ای، سینتیک اکسیداسیون ویتامین C و تشکیل اسید دهیدروآسکوربیک نمونه‌ها طی ۱۶ روز نگهداری تحت شرایط تیمارهای مختلف پوشش‌دهی (I، II و III) مورد مطالعه قرار گرفت. جدول (۳) داده‌های سینتیک برای اکسیداسیون ویتامین C خیار گلخانه‌ای برآش داده‌شده با واکنش‌های مرتبه صفر، اول و دوم را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که تخریب ویتامین C در خیار گلخانه‌ای طی دوره نگهداری از واکنش سینتیک مرتبه صفر پیروی می‌نماید (این ادعا از طریق بررسی مقادیر نسبت $\frac{R^2}{P(\%)}$ تأیید می‌شود). با توجه به جداول (۱)، (۲) و (۳) و به‌کارگیری رابطه زمان نیمه‌عمر واکنش مرتبه اول $(t_{1/2} = \frac{C_0}{2k_0})$ ، مقادیر نیمه‌عمر $(t_{1/2})$ نرخ تخریب ویتامین C (به‌عنوان شرایط بهینه برای ماندگاری خیار گلخانه‌ای که در آن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و تغذیه‌ای محصول حفظ می‌شود) در نمونه‌های (I)، (II) و (III) به ترتیب $9/01$ ، $9/75$ و $10/21$ محاسبه شد. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده، بهترین شرایط نگهداری که در آن ویژگی‌های کیفی محصول (میکروسکوپی و ماکروسکوپی) حفظ‌شده و مصرف‌کننده بیشترین دریافت خصوصیات تغذیه‌ای را خواهد داشت، حدود ۱۰ روز است.

گسترش فساد و نرخ توسعه باکتری‌ها و قارچ‌ها

عمر ماندگاری کوتاه خیار گلخانه‌ای (< 14 روز) و افت ویژگی‌های کیفی محصول، به‌شدت به نرخ توسعه میکروارگانیسم‌ها وابسته بوده و تغییرات فیزیکی و شیمیایی ایجادشده پس از برداشت محصول (افت رطوبت، افزایش شدت تنفس، تخریب و اکسایش ترکیبات زیست‌فعال و غیره) در شدت گسترش فساد میکروبی بسیار کارآمد است. در حقیقت، محدوده میکروبیولوژیکی قابل‌قبول برای

در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) در شکل (۲) ارائه شده است. با توجه به نتایج گزارش‌شده مشاهده شد نوع پوشش خوراکی (I، II و III) و زمان نگهداری (۱، ۸ و ۱۶ روز) تأثیر معنی‌داری ($P < 0/05$) روی این شاخص تغذیه‌ای داشتند. کمترین میزان ویتامین C در تمام مدت نگهداری در ارتباط با خیار گلخانه‌ای کنترل (فاقد پوشش یا پوشش I) مشاهده شد (حدود ۸۰ درصد کاهش نسبت به روز اول نگهداری) و به‌کارگیری پوشش‌های خوراکی (II یا III) منجر به تخریب کمتر ویتامین C نمونه‌ها، طی زمان نگهداری گردید. مشاهده مقادیر ویتامین C نمونه‌ها بعد از ۱۶ روز نگهداری نشان داد که تیمار خیار گلخانه‌ای با پوشش‌های خوراکی (III) و (II) توانست میزان این پارامتر را به ترتیب 73% و 75% درصد کاهش دهد. به احتمال این حالت به دلیل ترکیبات زیست‌فعال و ضد میکروبی (به‌ویژه ایزو-منتول و منتون) موجود در اسانس نعناع فلفلی است (Mokhtarian et al., 2022).



شکل ۲- مقادیر میانگین شاخص تغذیه‌ای ویتامین C خیار گلخانه‌ای طی دوره نگهداری به مدت ۱۶ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، حروف یونانی I، II و III به ترتیب مربوط به نمونه‌های فاقد پوشش (کنترل)، پوشش‌دهی‌شده با صمغ شیرازی ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی) و پوشش‌دهی‌شده با صمغ شیرازی ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی) همراه با ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام اسانس نعناع فلفلی. همچنین، تیرک‌های ترسیم‌شده بیانگر انحراف معیار (SD) داده‌های اندازه‌گیری شده است.

کیفیت خیارهای پوشش‌دهی‌شده با کیتوزان (حاوی اسید سالسیلیک)، طی ۱۲ روز نگهداری در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت و میزان ویتامین C، معادل $12/7$ میلی‌گرم/۱۰۰ گرم تعیین شد. میزان افت ویتامین C خیارهای تیمار شده نسبت به نمونه کنترل معادل 8% درصد گزارش شد که نسبت به پژوهش حاضر خیلی کمتر است. این حالت ممکن است به دلیل نقش محافظتی

جدول ۲- پارامترهای سینتیکی برای اکسیداسیون ویتامین C خیار گلخانه‌ای طی دوره نگهداری به مدت ۱۶ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد

نوع پوشش خوراکی	واکنش مرتبه صفر					واکنش مرتبه اول					واکنش مرتبه دوم				
	K_0	R^2_0	$P(\%)$	$R^2_0/P_0(\%)$	C_0 (میلی‌گرم/۱۰۰ گرم)	K_1	R^2_1	$P(\%)$	$R^2_1/P_1(\%)$	C_0 (میلی‌گرم/۱۰۰ گرم)	K_2	R^2_2	$P(\%)$	$R^2_2/P_2(\%)$	C_0 (میلی‌گرم/۱۰۰ گرم)
پوشش (I)	۰/۳۳	۰/۸۳	۰/۰۰	۱۲۴/۸۰	۶/۱۷	۰/۰۹	۱۳/۷۹	۰/۰۶	۵/۹۷	۰/۰۳	۰/۹۸	۳۳/۴۹	۰/۰۴	۶/۲۹	۶/۰۰
پوشش (II)	۰/۳۵	۰/۸۷	۰/۰۴	۲۰/۲۵	۶/۹۵	۰/۰۸	۸/۳۷	۰/۱۱	۶/۹۱	۰/۰۲	۰/۹۹	۶/۷۶	۰/۱۴	۷/۲۹	۷/۲۹
پوشش (III)	۰/۳۴	۰/۹۳	۰/۰۰	۱۳۹/۴۰	۷/۱۰	۰/۰۸	۲/۴۱	۰/۴۱	۷/۲۷	۰/۰۲	۰/۹۹	۱۵/۴۶	۰/۰۶	۸/۱۹	۸/۱۹

پوشش (I): خیار گلخانه‌ای فاقد پوشش (کنترل)، پوشش (II): خیار گلخانه‌ای پوشش دهی شده با صمغ شیرازی ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی) و پوشش (III): خیار گلخانه‌ای پوشش دهی شده با صمغ شیرازی ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی) همراه با ۱۰۰ پی‌ام اسانس نناع فلنلی.

مدل‌های میانگین انحراف نسبی یا $P(\%)$ یکی از شاخص‌های آماری بوده که جهت اعتبارسنجی مدل‌های ریاضی به کار می‌رود. این شاخص آماری توسط رابطه $P(\%) = \frac{100 \sum_{i=1}^N |Vit C_{p,i} - Vit C_{e,i}|}{N \times Vit C_{p,i}}$ محاسبه می‌شود. در این رابطه، زیرنویس‌های ۵ و P به ترتیب مربوط به یافته‌های تجربی و پیش‌بینی شده و N تعداد داده‌های تجربی است.

جهت بررسی دقیق کارایی مدل تجربی در پیش‌بینی میزان ویتامین C خیار گلخانه‌ای، از نسبت ضریب تعیین به میانگین انحراف نسبی ($R^2/P(\%)$) استفاده شد. مقادیر بالاتر این شاخص، بیان‌گر دقت بالای مدل در پیش‌بینی می‌باشد.

باکتری‌های هوازی کل و قارچ‌ها، ۵ لگاریتم واحد تشکیل‌دهنده کلنی در گرم گزارش شده است (Mohammadi et al., 2016). نتایج مقایسه میانگین نرخ توسعه میکروارگانیسم‌های (باکتری‌ها و قارچ‌ها) خیار گلخانه‌ای طی ۱۶ روز نگهداری در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) در جدول (۴) آمده است. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که، نوع پوشش خوراکی (I، II و III) و زمان نگهداری (۱، ۸ و ۱۶ روز) تأثیر معنی‌داری ($P < 0.05$) روی توسعه آلودگی میکروبیولوژیکی خیار گلخانه‌ای داشت. باوجود اینکه، نرخ توسعه باکتری‌های مزوفیل، کپک و مخمر خیار گلخانه‌ای فاقد پوشش (نمونه کنترل) بعد از ۱۶ روز نگهداری به ترتیب $1/78$ ، $33/79$ و $1/72$ توسعه یافت، نرخ رشد میکروارگانیسم‌های یادشده در نمونه (III) و در شرایط مشابه، به ترتیب $1/59$ ، $31/92$ و $1/64$ مرتبه گسترش یافت. همچنین، در تمام پوشش‌های خوراکی مورد مطالعه (I، II و III)، با افزایش زمان نگهداری، پارامتر نسبت توسعه باکتری به قارچ (B/F) کاهش یافت که بیانگر نرخ رویش بیشتر قارچ‌ها (مخمر/کپک) نسبت به باکتری می‌باشد (جدول ۴). این حالت ممکن است به دلیل ماهیت کم‌توقع بودن قارچ‌ها نسبت به باکتری‌ها باشد که در شرایط کم مواد مغذی موجود در خیار نیز توانسته است با نرخ بالایی توسعه یابد. نتایج مشابه توسط سایر محققین، در خصوص نقش هم‌افزایی اسانس‌های گیاهی در هم‌تنیده‌شده در ساختار پلیمرهای خوراکی گزارش شده است (Mohammadi et al., 2015, 2016). همبستگی قوی و منفی ($r = -0.90$) و بین پارامتر نسبت توسعه باکتری به قارچ (B/F) ($R^2 = 0.81$) در زمان‌های نگهداری گوناگون، این مطلب را تأیید می‌نماید. در پژوهش‌های پیشین به فعالیت ضدباکتریایی ویتامین C در برابر باکتری‌های پاتوژن (باسیلوس سوبتیلیس^۱، اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس^۲) اشاره شده است (Mohammadi et al., 2016). فعالیت ضدباکتریایی ویتامین C به صورت تنها یا در ترکیب با اسید لاکتیک روی باکتری اشریشیاکلی (O157:H7) در شرایط آزمایشگاهی و مدل غذایی (آبمیوه هویج) مورد بررسی قرار گرفت. به کارگیری ترکیبی ۰/۲ درصد (یا ۰/۴ درصد) ویتامین C و ۰/۲ درصد اسید لاکتیک، سبب جلوگیری از رشد باکتری یادشده در آبمیوه هویج شد که نقش بازدارندگی این ویتامین را تأیید می‌نماید (Mohammadi et al., 2016).

² Staphylococcus aureus¹ Bacillus subtilis

جدول ۴- مقادیر میانگین شدت توسعه آلودگی میکروبیولوژیکی خیار گلخانه‌ای طی دوره نگهداری به مدت ۱۶ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد

نسبت (B/F)	نوع و میزان میکروارگانیسم هدف (لگاریتم واحد تشکیل‌دهنده کلنی در گرم)			زمان نگهداری (روز)	نوع پوشش خوراکی
	قارچ (F)				
	مخمر	کیک	شمارش مزوفیل‌ها		
~۱/۱۵	۳/۷۰±۰/۰۴ ^g	۰/۱۰±۰/۱۷ ^d	۴/۳۷±۰/۰۰ ^g	۱	پوشش (I)
~۱/۰۸	۴/۶۸±۰/۰۷ ^d	۱/۲۱±۰/۱۲ ^b	۶/۳۴±۰/۰۰ ^d	۸	
~۰/۸۱	۶/۳۴±۳۴/۰۱ ^a	۳/۳۸±۰/۰۶ ^a	۷/۷۸±۰/۰۳ ^a	۱۶	
~۱/۱۵	۳/۶۹±۰/۰۵ ^g	۰/۱۰±۰/۱۷ ^d	۴/۳۷±۰/۰۰ ^g	۱	پوشش (II)
~۱/۱۱	۴/۵۶±۰/۰۳ ^e	۱/۰۶±۰/۰۷ ^{bc}	۶/۲۴±۰/۰۱ ^e	۸	
~۰/۷۶	۶/۲۲±۰/۰۰ ^b	۳/۲۸±۰/۰۳ ^a	۷/۲۰±۰/۰۲ ^b	۱۶	
~۱/۱۶	۳/۶۸±۰/۰۵ ^g	۰/۱۰±۰/۱۷ ^d	۴/۳۷±۰/۰۱ ^g	۱	پوشش (III)
~۱/۱۴	۴/۳۱±۰/۰۷ ^f	۰/۹۷±۰/۱۳ ^c	۶/۰۱±۰/۰۳ ^f	۸	
~۰/۷۵	۶/۰۳±۰/۰۲ ^c	۳/۲۰±۰/۱۹ ^a	۶/۵۹±۰/۰۱ ^c	۱۶	

پوشش (I): خیار گلخانه‌ای فاقد پوشش (کنترل)، پوشش (II): خیار گلخانه‌ای پوشش‌دهی شده با صمغ شیرازی ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی) و پوشش (III): خیار گلخانه‌ای پوشش‌دهی شده با صمغ شیرازی ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی) همراه با ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام اسانس نعناع فلفلی، اعداد به صورت میانگین±انحراف معیار نمایش داده شده است. حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار می‌باشند ($P<0/05$).

حاضر می‌تواند به‌طور کاربردی در انبارهای سرد نگهداری این محصول و نیز صنایع بسته‌بندی (به‌ویژه محصولات عرضه‌شده در فروشگاه‌های زنجیره‌ای) عملی باشد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی با کد ۵۸ مصوب مرکز تحقیقات حلال ایران می‌باشد. نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند که از معاونت پژوهشی مرکز یادشده به‌دلیل مساعدت‌های مالی جهت اجرای این طرح پژوهشی صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

مشارکت نویسندگان

محسن مختاریان: نوشتن پیش‌نویس مقاله، ارائه ایده پژوهشی و طراحی مطالعه، نظارت بر مطالعه، بازبینی و اصلاح مقاله، تأیید نسخه نهایی؛ فاطمه کوشکی: جمع‌آوری داده، آنالیز داده‌ها؛ بهروز جنت: تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، از آنجایی که خیار گلخانه‌ای بسیار فسادپذیر است، باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن، نگهداری و حمل‌ونقل شود. باتوجه‌به یافته‌های پژوهش حاضر مشاهده شد که پوشش‌دهی خیار گلخانه‌ای پیش از نگهداری، نه تنها سبب بهبود نرخ توسعه میکروبیولوژیکی محصول می‌شود، بلکه با حفظ خواص ضداکسیدانی محصول (به‌ویژه ویتامین C)، نیمه‌عمر ماندگاری فرآورده را بهبود می‌بخشد و از توسعه ضایعات پس از برداشت محصول می‌کاهد. نتایج نشان داد که نرخ تخریب ویتامین C در خیار گلخانه‌ای طی دوره نگهداری از واکنش سینتیک مرتبه صفر پیروی می‌نماید و بیشترین نسبت ($\frac{R^2}{P(\%)}$) در نمونه (III) مشاهده شد ($\frac{R^2}{P(\%)}=139/40$) که متناظر با کمترین نسبت (B/F) است ($\frac{B}{F} \sim 0/75$). این حالت ممکن است به‌دلیل ترکیبات ترپنئیدی (به‌ویژه مونوترپن‌های اکسیژن‌دار (OMT)) عمده موجود در اسانس نعناع فلفلی (منتون و ایزو-منتول) است. به‌علاوه، نتایج نشان داد که ویتامین C یک عامل ضدباکتریایی ایمن و مؤثر در جلوگیری از توسعه فساد در خیار گلخانه‌ای می‌باشد. نتایج پژوهش

منابع

- Alegre, I., Viñas, I., Usall, J., Anguera, M., & Abadias, M. (2011). Microbiological and physicochemical quality of fresh-cut apple enriched with the probiotic strain *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Food Microbiology*, 28(1), 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.08.006>
- Chauhan, R. S., Kaul, M. K., Shahi, A. K., Kumar, A., Ram, G., & Tawa, A. (2009). Chemical composition of essential oils in *Mentha spicata* L. accession [IIM(J)26] from North-West Himalayan region, India. *Industrial Crops and Products*, 29(2), 654-656. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.12.003>

- de Sousa Barros, A., de Moraes, S. M., Ferreira, P. A. T., Vieira, Í. G. P., Craveiro, A. A., dos Santos Fontenelle, R. O., . . . de Sousa, H. A. (2015). Chemical composition and functional properties of essential oils from *Mentha* species. *Industrial Crops and Products*, 76, 557-564. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.004>
- Dehghani, P., Hosseini, S. M. H., Golmakani, M.-T., Majdinasab, M., & Esteghlal, S. (2018). Shelf-life extension of refrigerated rainbow trout fillets using total Farsi gum-based coatings containing clove and thyme essential oils emulsions. *Food Hydrocolloids*, 77, 677-688. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.009>
- Fahlén, A., Welander, M., & Wennersten, R. (1997). Effects of Light-Temperature Regimes on Plant Growth and Essential Oil Yield of Selected Aromatic Plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73(1), 111-119. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199701\)73:1%3C111::AID-JSFA686%3E3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199701)73:1%3C111::AID-JSFA686%3E3.0.CO;2-2)
- FAO. (2018). FaoStat Database. Available from <http://faostat.fao.org> .
- Gracindo, L., Grisi, M., Silva, D., Alves, R., Bizzo, H., & Vieira, R. (2006). Chemical characterization of mint (*Mentha* spp.) germplasm at Federal District, Brazil .
- Jiang, T., Feng, L., & Wang, Y. (2013). Effect of alginate/nano-Ag coating on microbial and physicochemical characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) during cold storage. *Food Chemistry*, 141(2), 954-960. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.093>
- Joukar, F., Hosseini, S. M. H., Moosavi-Nasab, M., Mesbahi, G. R., & Behzadnia, A. (2017). Effect of Farsi gum-based antimicrobial adhesive coatings on the refrigeration shelf life of rainbow trout fillets. *LWT*, 80, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.074>
- Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 207-220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)
- Lin, Q., Lu, Y., Zhang, J., Liu, W., Guan, W., & Wang, Z. (2017). Effects of high CO₂ in-package treatment on flavor, quality and antioxidant activity of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 123, 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.09.006>
- Marotti, M., Piccaglia, R., Giovanelli, E., Deans, S. G., & Eaglesham, E. (1994). Effects of planting time and mineral fertilization on peppermint (*mentha x piperita* L.) essential oil composition and its biological activity. *Flavour and Fragrance Journal*, 9(3), 125-129. <https://doi.org/10.1002/ffj.2730090307>
- Masamba, K., Mkandawire, M., Chiputula, J., & Nyirenda, K. (2013). Evaluation of sensory quality attributes and extent of vitamin C degradation in dried pineapple, mango and banana fruit pieces pre-treated with sodium metabisulphite and lemon juice. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 3(3), 75-80 .
- Mohammadi, A., Hashemi, M., & Hosseini, S. M. (2015). Chitosan nanoparticles loaded with *Cinnamomum zeylanicum* essential oil enhance the shelf life of cucumber during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 203-213. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.019>
- Mohammadi, A., Hashemi, M., & Hosseini, S. M. (2016). Postharvest treatment of nanochitosan-based coating loaded with *Zataria multiflora* essential oil improves antioxidant activity and extends shelf-life of cucumber. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 580-588. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.10.015>
- Mokhtarian, M., Kalbasi-Ashtari, A., & Xiao, H.-W. (2022). Effects of solar drying operation equipped with a finned and double-pass heat collector on energy utilization, essential oil extraction and bio-active compounds of peppermint (*Mentha Piperita* L.). *Drying Technology*, 40(5), 897-923. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1836650>
- Murray, K., Wu, F., Aktar, R., Namvar, A., & Warriner, K. (2015). Comparative Study on the Efficacy of Bacteriophages, Sanitizers, and UV Light Treatments To Control *Listeria monocytogenes* on Sliced Mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of Food Protection*, 78(6), 1147-1153. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-389>
- Nasiri, M., Barzegar, M., Sahari, M. A., & Niakousari, M. (2017). Tragacanth gum containing *Zataria multiflora* Boiss. essential oil as a natural preservative for storage of button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Food Hydrocolloids*, 72, 202-209. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.045>
- Nkwocha, A. C., Ekeke, I. C., Kamalu, C. I. O., Oghome, P. I., Osoka, E. C., & Nkuzinna, O. C. (2018). Kinetic Modelling of Vitamin C Degradation in Selected Fruits under Market Storage Conditions. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 3(5) .
- Noshirvani, N., Fasihi, H., & Rahmati-Yavandi, J. (2015, June). *Shelf-life extension of cucumber by active coating based on CMC containing ginger and savory essences* 3rd National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, June, 10 2015, Hamedan <https://civilica.com/doc/416537> (in Persian)
- Rahimi, S., & Abbasi, S. (2014). Characterization of some physicochemical and gelling properties of Persian gum. *Innovative Food Technologies*, 1(4), 13-27. <https://doi.org/10.22104/jift.2014.47> (in Persian)
- Rocha, R., Melo, E., & Radünz, L. (2011). Influence of drying process on the quality of medicinal plants: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(33), 7076-7084 .
- Singh, R., Shushni, M. A. M., & Belkheir, A. (2015). Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(3), 322-328 <https://doi.org/10.1016/j.arabj.2011.01.019>
- Sogvar, O. B., Koushesh Saba, M., Emamifar, A., & Hallaj, R. (2016). Influence of nano-ZnO on microbial growth, bioactive content and postharvest quality of strawberries during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 35, 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.05.005>
- Tavakolipour, H., Mokhtarian, M., & Kalbasi-Ashtari, A. (2017). Lipid Oxidation Kinetics of Pistachio Powder During Different Storage Conditions. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12423. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12423>
- Wang, Q., Chu, L., & Kou, L. (2017). UV-C Treatment maintains quality and delays senescence of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Scientia Horticulturae*, 225, 380-385. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.019>

Modeling of Vitamin C Degradation Kinetics of Fresh *Cucumis sativus* as a Function of Edible Coating Kind and Storage Time

Mohsen Mokhtarian^{1*}, Fatemeh Koushki¹, Behrooz Jannat²

1- Department of Food Science and Technology, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

* Corresponding author (mokhtarian.mo@riau.ac.ir)

2- Halal Research Center of IRI, Ministry of Health and Medical Education, Tehran, Iran

Abstract

Vitamin C (L-ascorbic acid) is a basic nutrients and very effective antioxidant that acts as a natural preservative in fruits (such as *Cucumis sativus*). Aiming to maintain bioactive compounds (especially inhibition the dehydroascorbic acid formation) and preventing the spoilage development, the effect of edible coating types (I: control, II: Shiraz gum & III: Shiraz gum containing 1000 ppm *Mentha piperita* L. essential oil) and storage times (1, 8 and 16 days) on the auto-oxidation kinetics of vitamin C and its inhibitory role on inhibition of bacterial/fungal growth of *Cucumis sativus* at +4 °C, was evaluated. The results indicated that the variation rate of *Cucumis sativus* vitamin C degradation during storage period follows the zero-order kinetic reaction (the highest $\frac{R^2}{P(\%)}$ ratio). The lowest growth rate of mesophilic bacteria (6.95), mold (3.21) and yeast (6.04) of *Cucumis sativus* in (\log_{10} CFU/g) observed after 16 days of storage in sample (III) that corresponding to the lowest rate of vitamin C degradation. The half-time values ($t_{1/2}$) of vitamin C degradation rate showed that, the best shelf-life of *Cucumis sativus* (in the studied conditions) was ~10 days, aiming to maintain the most nutritional properties. Generally, the findings of present research can be useful for monitoring the shelf life of *Cucumis sativus* kept in cold stowage.

Keywords: Active edible coating, Cucumber, Peppermint, Shirazi gum, Vitamin C oxidation kinetics

