

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

محسن مختاریان¹، فاطمه کوشکی¹، بهروز جنت²

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

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸
واژه‌های کلیدی
پوشش خوراکی فعال
خیار گلخانه‌ای
نوع فلفلی
صمغ شیرازی
سینتیک اکسیداسیون ویتامین C

ویتامین C (ال-آسکوربیک اسید) یک ماده مغذی بنیادی و یک ضد اکسیدان بسیار مؤثر بوده که به عنوان یک نگهدارنده طبیعی در میوه‌ها (نظیر خیار گلخانه‌ای) عمل می‌نماید. با هدف حفظ ترکیبات زیست‌فعال (به ویژه ممانعت از تشکیل دهیدروآسکوربیک اسید) و جلوگیری از توسعه فساد، تأثیر نوع پوشش خوراکی (کنترل، صمغ شیرازی و صمغ شیرازی حاوی ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام اسانس نعناع فلفلی) و زمان نگهداری (۱، ۸ و ۱۶ روز)، روی سینتیک اکسیداسیون خودبه‌خودی ویتامین C و نقش ممانعت‌کنندگی آن روی بازدارداری از رشد باکتری لقاچ 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 نعناع فلفلی مشاهده شد که متناظر با کمترین نرخ تخریب ویتامین C است. مقادیر نیمه عمر ($t_{1/2}$) 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.

مقدمه

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)، ژاپن (۱/۴۲٪ درصد)، اسپانیا (۰/۵٪ درصد)، قزاقستان (۰/۴۴٪ درصد) و مکزیک (۰/۳۶٪ درصد) بشمار می‌رود. با توجه به آمار یادشده، ایران به ترتیب

خیار گلخانه‌ای^۱ از خانواده کدوئیان^۲، یکی از پرمصرف‌ترین پرمصرف‌ترین صیفی‌جات مهم اقتصادی در سراسر جهان است (Mohammadi, 2015a). براساس نتایج سازمان خواربار کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO)، تولید

¹ *Cucumis sativus*

² *Cucurbitaceae*

شناخته شده است، بنابراین، از آن به‌عنوان یک شناساگر آفت سایر ویتامین‌ها نیز استفاده می‌گردد (Nkwocha, 2018). گروهی از محققین مدل‌سازی سینتیک تخریب ویتامین C آب پرتقال را بررسی و اعلام نمودند که نرخ تخریب ویتامین C (حدود ۴ تا ۹ درصد) این محصول از واکنش مرتبه اول تبعیت می‌نماید (Nkwocha, 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, 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 آزن‌زنی، بسته‌بندی با پوشش‌های خوراکی (نظیر کربوکسی‌متیل سلولز (CMC^۲)، صمغ شیرازی، کیتوسان و غیره)، استفاده از کشت‌های زیستی پروبیوتیکی، انبار با اتمسفر کنترل‌شده^۳ (CAS) و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده^۴ (MAP) می‌باشند (Lin, 2017; Murray, 2015; Alegre, 2011; Qin, 2015; Wang, 2017). در این خصوص، برخی از مطالعات اثر ممانعت‌کنندگی اسانس‌های روغنی (EOs^۵) و ترکیبات آنها را روی فساد مرتبط با غذا و میکروارگانیزم‌های پاتوژن (بیماری‌زا) نشان داده‌اند (Mohammadi, 2015a). 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, 2020).

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

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 آفت ارزش غذایی (به‌ویژه آفت ویتامین C) همراه است (میانگین مقدار ویتامین C میوه‌ها شامل خیار پوست‌شده 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 به ترتیب حدود ۴، ۵۳، ۴۸، ۳۴، ۱۰۶، ۱۰، ۳۸، ۱۴۴، ۳۹، ۳۱، ۶۱ و ۶۶ میلی‌گرم/در ۱۰۰ گرم است) (FAO, 2018). بنابراین بایستی با اعمال شرایط ویژه بتوان مدت ماندگاری این محصول را گسترش داد. ازدست‌رفتن کیفیت این محصول به‌صورت‌های نرم‌شدن بافت، آفت ارزش غذایی، تخریب رنگ (قهوه‌ای‌شدن)، ازدست‌دادن آب و درنهایت فساد قارچی، آشکار می‌شود (Mohammadi, 2015a).

ویتامین C، یک ترکیب مغذی است که به‌دلیل داشتن اثر ضداکسیدانی، 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, 2018). ویتامین C به‌آسانی تخریب می‌شود و مطالعه‌های گسترده‌ای روی نرخ تخریب این ویتامین در مواد غذایی و میوه‌ها انجام شده است و مدل‌های سینتیک مختلفی برای پیش این ویتامین، برآزش 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, 2013; Nkwocha, 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 (Nkwocha, 2018; Lee, 2000). ویتامین C به‌عنوان یک ماده مغذی حساس به حرارت، در مواد غذایی به رسمیت

² Carboxymethyl cellulose

³ Control atmosphere storage (CAS)

⁴ Modified atmosphere packaging (MAP)

⁵ Essential oil

⁶ *Mentha piperita* L.

¹ Norepinephrine

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 برداشت شده در مدت زمان کوتاهی (۲ ساعت) به آزمایشگاه منتقل و در یخچال (Daewoo، FRS-۲۴۱۱S، ساخت کره) به ترتیب در دما و رطوبت نسبی ۴ درجه سانتی‌گراد و ۹۰ درصد، تا شروع آزمون‌ها نگهداری شدند (حداکثر به مدت ۲ روز). در شروع آزمایش‌ها، خیارها مورد بازرسی اولیه قرار گرفتند و نمونه‌هایی با وضعیت ظاهری مشابه و فاقد آسیب مکانیکی انتخاب شدند. به منظور به حداقل رساندن 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 ریحان گام پارسین خریداری شد. به علاوه، برگ‌های نعنای فلفلی خشک به عنوان ماده خام اولیه از استان فارس (شیراز) تهیه شد.

استخراج اسانس، شناسایی، کمی‌سازی ترکیبات فرار نعنای فلفلی

استخراج اسانس از برگ‌های نعنای فلفلی خشک شده توسط دستگاه کلونجر (تقطیر با آب) صورت گرفت. بدین منظور ۲۰۰ گرم نمونه آزمایشی (برگ نعنای فلفلی خشک) به صورت دقیق توزین و به بالن ژوژه حاوی ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و فرایند استخراج به مدت ۲ ساعت ادامه یافت. عمل آب‌گیری اسانس استحصال شده در مجاورت سولفات سدیم بدون آب (Na_2SO_4) انجام شد و سپس اسانس‌های استخراج شده در شیشه‌های قهوه‌ای کوچک درب‌بندی و در فریزر با دمای -18 درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمایش‌های بعدی نگهداری گردید (به دلیل حساس بودن اسانس نسبت به نور، اکسیژن و دما). بازده استخراج اسانس در سه تکرار اندازه‌گیری شد و نتیجه باتوجه به مواد خشک نمونه آزمایشی برحسب (میلی‌لیتر/کیلوگرم ماده خشک) گزارش شد (Mokhtarian, 2020).

می‌شود) صورت گرفته است. به طور کلی این تمایل به دلیل، ایمن بودن، زیست‌سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیر بودن و بومی بودن است (Mohammadi, 2015a). بادام کوهی^۱، درخت یا درختچه‌ای از خانواده گلسرخیان^۲ است که در ایران به طور وحشی و خودرو در مناطق ایرانی-تورانی و زاگرس می‌روید. از تنه و شاخه‌های این درخت نوعی صمغ تراوش می‌شود که آن را صمغ شیرازی (صمغ فارسی یا زدو) می‌نامند (Rahimi, 2014). در پژوهش حاضر نیز از صمغ یادشده به دلیل قیمت پایین در مقیاس بالا، بومی بودن و زیست‌تخریب‌پذیر بودن، برای پوشش‌دهی خیار گلخانه‌ای استفاده شد. در مطالعه‌ای تأثیر پوشش‌های خوراکی کیتوزان و نانوکیتوزان درهم‌تنیده در اسانس روغنی دارچین، روی کیفیت خیار نگهداری شده در انبار سرد مورد مطالعه قرار گرفت. میزان افت وزن میوه‌های تیمار شده با پلی‌مرهای کیتوزان و نانوکیتوزان به ترتیب ۵/۴۹ و ۸/۴۷ درصد گزارش شد. میزان محتوای کلروفیل کل میوه‌های پوشش‌دهی شده در پایان دوره نگهداری، بالاتر بود که با ممانعت مؤثرتر رشد قارچ‌ها (کپک و مخمر) همراه بود (Rahimi, 2014). در پژوهشی دیگر، تأثیر عصاره بره‌موم و روغن علف لیمو^۳ (*Cymbopogon citratus*) روی افزایش عمر ماندگاری خیار مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که استفاده ترکیبی از ترکیبات زیست‌فعال به همراه بسته‌بندی با اتمسفر کنترل شده تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در افزایش ماندگاری خیار تا ۲۰ روز دارد (Rahimi, 2014).

تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در خصوص سینتیک تخریب ویتامین C محصولات کشاورزی و مواد غذایی مختلف صورت گرفته است. با این حال، پژوهش‌های اندکی در خصوص 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 به عنوان یک سیستم هاردل (سیستم مرکب) جهت گسترش ماندگاری و ممانعت از تخریب ویتامین C مورد بررسی قرار گرفت.

¹ *Amygdalus scoparia* Spach

² *Rosaceae*

³ *Lemongrass*

هوای داغ در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حذف گردید (Dehghani, 2017).

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 استریل کردن محلول پوشش، مقدار ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام اسانس نعنای فلفلی به آن اضافه شد. سایر مراحل مشابه تیمار II دنبال گردید (Noshirvani, 2015). لازم به ذکر است که مقدار اسانس اضافه‌شده براساس حداقل غلظت کشندگی قارچ (MFC^۲) و ارزیابی حسی مقدماتی انتخاب گردید (Noshirvani, 2015).

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 استریل کردن پوشش‌ها از اتوکلاو (Reyhanteb, RT-۱، ساخت ایران) با شرایط (فشار ۱ اتمسفر، دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۵ دقیقه) استفاده شد (Mohammadi, 2015b).

محتوای ویتامین C

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

مدل‌سازی واکنش اکسیداسیون ویتامین C و تخمین عمر ماندگاری خیار گلخانه‌ای طی نگهداری

مکانیزم اکسایش ویتامین C و تشکیل دهیدروآسکوربیک اسید^۴ (DHAA) 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.

$$\text{رابطه (۱)}$$

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

$$\text{(رابطه ۱)}$$

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×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 ۵۰ درجه سانتی‌گراد برای ۵ دقیقه تنظیم شد. سپس به تدریج با نرخ ۵ (درجه سانتی‌گراد/دقیقه) تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و در نهایت به ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید. در مرحله بعد، اسانس نعنای فلفلی (۰/۱ میکرولیتر) به دستگاه تزریق شد. دمای تزریق و شناسایی به ترتیب ۲۵۰ و 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 کووانس (KI)، شاخص بازدارندگی GC-MS و شاخص‌های طیف جرمی، جهت شناسایی اکثر ترکیبات موجود در اسانس نعنای فلفلی به‌کار گرفته شد (Mokhtarian, 2020).

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 آب مقطر استریل (با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲ دقیقه غوطه‌ور شدند. سپس رطوبت سطحی نمونه‌ها توسط آون جابه‌جایی هوای داغ (UNE ۴۰۰ PA، Memmert، ساخت آلمان) در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حذف گردید (Jiang, 2013; Nasiri, 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

^۲ Minimum fungicidal concentration

^۳ 2,6-Dichlorophenolindophenol (DCPIP)

^۴ Dehydroascorbic acid (DHAA)

^۱ Plasticizer

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/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	$\frac{dC}{dt} = -k_2 [C]^2$	$\frac{1}{[C]} = \frac{1}{[C_0]} + k_2 t$	$t_{1/2} = \frac{1}{k_2 C_0}$	$^{-1}$ (روز) × (میلی گرم/۱۰۰ گرم)

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

در رابطه (۱)، C غلظت ویتامین C طی دوره نگهداری (میلی گرم/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, 2017). جدول (۱) مدل‌های مختلف مورد استفاده جهت نشان دادن تغییرات کاهشی غلظت ویتامین C خیارهای گلخانه‌ای مختلف طی دوره نگهداری و یافتن مرتبه واکنش اکسیداسیون (صفر، اول و دوم) را نشان می‌دهد. بهترین مدل تعیین کننده مرتبه واکنش توسط ضریب تبیین (R^2)، (Tavakolipour, 2017) و مدول میانگین انحراف نسبی $P(\%)$ (Tavakolipour, 2017)، تعیین شد. به علاوه، جهت برازش داده‌ها از نرم افزار Microsoft Excel نسخه ۲۰۰۷ استفاده شد.

محیط کشت سابورید دکستروز آگار^۳ (SDA) 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, 2015b).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها (داده‌های مربوط به آزمون‌های 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 ± 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 (Fahlen, 1997; Chauhan, 2009)؛، ژنوتیپ و شرایط آگرونومی (زرعی) نظیر زمان برداشت، سن گیاه و

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 میلی‌لیتر 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, 2017).

برای شمارش کلی باکتری‌ها از محیط کشت پلیت کانت آگار^۲ (PCA) استفاده شد و کلنی‌های باکتری بعد از ۲ روز گرم‌خانه‌گذاری در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد شمارش شد. همچنین برای شمارش کپک‌ها و مخمرها از

³ Sabouraud dextrose agar (SDA)

⁴ Ecotype

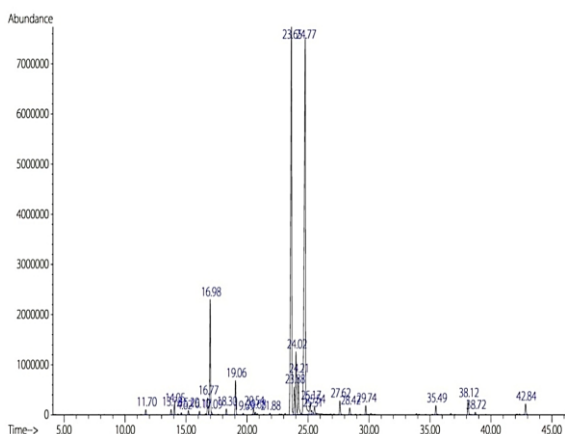
⁵ Phenophases

⁶ Photoperiod

¹ Mean relative deviation modulus

² Plate Count Agar (PCA)

استات، پی‌پری‌تنون اکسید و پولگون هستند. همچنین آنها مقدار منتول و ایزو-منتول نعنای رقم ژاپنی (*Mentha canadensis*) را به ترتیب ۴۶/۹۸ و ۲۹/۰۷ درصد گزارش نمودند (Barros, 2015). در مطالعه‌ای دیگر مهم‌ترین مونوتیرین‌های اکسیژن‌دار^۳ (OMT) شناسایی شده در اسانس ارقام مختلف نعنای 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, 2006). فعالیت ضدباکتریایی اسانس نعنای فلفلی به ترکیبات شیمیایی عمده آن (به‌ویژه مونوتیرین‌های 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 نعنای فلفلی به‌طور انتخابی جذب‌شده 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 نعنای فلفلی روی باکتری‌های گرم مثبت است که به‌احتمال به دلیل 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. باین‌حال، عدم وجود این ساختار در باکتری‌های گرم مثبت، آنها را به حمله‌های عوامل خارجی حساس می‌کند (Gracindo, 2006).



شکل ۱- کروماتوگرام به‌دست‌آمده از تزریق اسانس استحصال‌شده از اندام‌های هوایی نعنای فلفلی خشک به دستگاه GC-MS

تراکم محصول (Marotti, 1994; Chauhan, 2009) و خشک‌کردن (Rocha, 2011; Mokhtarian, 2020) است. طبق یافته‌های پژوهش حاضر مشخص گردید که میزان بازده استخراج اسانس از برگ نعنای فلفلی معادل $9/4 \pm 0/104$ (میلی‌لیتر/کیلوگرم) است. گروهی از پژوهشگران، بازده اسانس روغنی نعنای فلفلی را تقریبی ۶/۴ (میلی‌لیتر/کیلوگرم ماده خشک) تعیین نمودند که یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می‌نماید (Singh, 2015). در مطالعه‌ای دیگر، مقدار بازده اسانس روغنی نعنای برای گونه‌های مختلف نعنای بین ۰/۲ و ۵/۴ (میلی‌لیتر/کیلوگرم) گزارش نمودند (Barros, 2015).

ترکیبات فرار اسانس روغنی نعنای فلفلی و ویژگی‌های ضد میکروبی آن

اثرات سودمند متعددی به گیاه دارویی نعنای 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 (Barros, 2015). نتایج شناسایی، کمی‌سازی ترکیبات فرار اسانس استخراج‌شده از اندام‌های هوایی نعنای فلفلی به دستگاه GC-MS، در شکل (۱) و جدول (۲) گزارش شده است (برای شناسایی اعداد مربوط به هر پیک به جدول (۲) مراجعه شود). همان‌طور که مشاهده می‌شود، حدود ۳۸ ترکیب فرار در اسانس نعنای 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 شناسایی‌شده در اسانس نعنای 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-سابینین هیدرات^۲ (۲/۱۴ درصد) و د-لیمونن (۱/۰۷ درصد) بیشترین سهم ترکیبات فرار اسانس نعنای فلفلی را تشکیل می‌دهند. گروهی از محققان گزارش نمودند که فراوان‌ترین اسانس‌های روغنی گونه‌ی منتا (*Mentha*) شامل لیمونن، ایزومنتون، منتول، منتوفوران، د-نتو ایزومنتول، ۱،۸-سینئول (اُتوکالپیتول)، د-کارون، لینالول، لینالیل

¹ Immunomodulating

² cis-Sesquisabinene hydrate

³ Oxygenated monoterpenes (OMT)

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

ردیف	ترکیب	شاخص کووت (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	۱۵/۲	۰/۲۷
۶	α -Terpinene	۱۰۲۱	۱۶/۱	۰/۲۲
۷	para-Cymene	۱۰۳۱	۱۶/۶	ناچیز
۸	D-Limonene	۱۰۳۴	۱۶/۷۷	۱/۰۷±۰/۰۰
۹	1,8-Cineole (Eucalyptol)	۱۰۳۸	۱۶/۹۸	۷/۳±۰/۰۱
۱۰	Z- β -Ocimene	۱۰۴۰	۱۷/۰۹	ناچیز
۱۱	E- β -Ocimene	۱۰۵۱	۱۷/۶۵	ناچیز
۱۲	γ -Terpinene	۱۰۶۳	۱۸/۳	۰/۳۷
۱۳	cis-Sabinene hydrate	۱۰۷۸	۱۹/۰۶	۲/۱۴±۰/۰۰
۱۴	δ -Terpinene (Terpinolene)	۱۰۹۰	۱۹/۶۸	۰/۱
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	۳۳/۰±۰/۰۰
۲۱	Menthofuran	۱۱۷۴	۲۳/۸۸	۱/۷۴±۰/۰۰
۲۲	iso-Menthone	۱۱۷۷	۲۴/۰۲	۳/۸۹±۰/۰۰
۲۳	Menthol	۱۱۸۱	۲۴/۲۱	۲/۹۱±۰/۰۰
۲۴	iso-Menthol	۱۱۹۲	۲۴/۷۵	۳۸/۶۸±۰/۰۰
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	۰/۵
۲۹	neo-Menthyl acetate	۱۲۷۹	۲۸/۹۱	ناچیز
۳۰	Menthyl acetate	۱۲۹۷	۲۹/۷۴	۰/۵۸
۳۱	Carvacrol	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	-	-	۹۹/۶۷±۰/۰۰

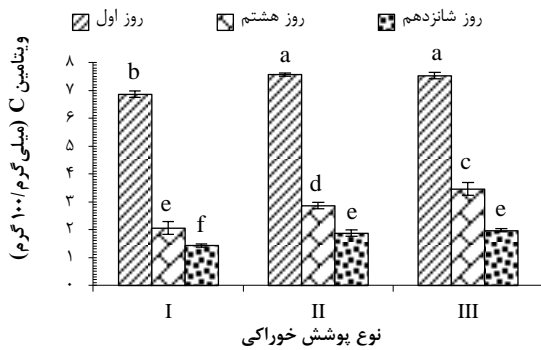
*مقادیر میانگین دو تکرار است.

محتوای ویتامین C

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

گونه‌های فعال اکسیژن^۱ (ROS) در میوه‌ها و سبزی‌ها ممانعت می‌نماید (Nasiri, 2017). نتایج مقایسه میانگین

^۱ Reactive oxygen species (ROS)



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)، پوشش‌دهی شده با صمغ شیرازی ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی) و پوشش‌دهی شده 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.

مدل‌سازی سینتیک تخریب ویتامین C

به منظور به دست آوردن شرایط بهینه نگهداری خیار گلخانه‌ای، سینتیک اکسیداسیون ویتامین C و تشکیل دهیدروآسکوربیک اسید نمونه‌ها طی ۱۶ روز نگهداری تحت شرایط تیمارهای مختلف پوشش‌دهی (I، II و III) مورد مطالعه قرار گرفت. جدول (۳) داده‌های سینتیکی برای اکسیداسیون ویتامین C خیار گلخانه‌ای برآزش داده شده 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). باتوجه به جداول (۱)، (۲) و (۳) و به کارگیری رابطه زمان نیمه عمر واکنش مرتبه اول $(t_{1/2} = \frac{C_0}{2k_0})$ ، مقادیر نیمه عمر $(t_{1/2})$ نرخ تخریب ویتامین C (به عنوان 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 ۹/۰۱، ۹/۷۵ و ۱۰/۲۱ محاسبه شد. باتوجه به مقادیر به دست آمده، بهترین شرایط نگهداری که در آن ویژگی‌های کیفی محصول (میکروسکوپی و ماکروسکوپی) حفظ شده و مصرف کننده بیشترین دریافت خصوصیات تغذیه‌ای را خواهد داشت، حدود ۱۰ روز است.

تغییرات ویتامین C خیار گلخانه‌ای طی ۲ هفته نگهداری در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) در شکل (۲) ارائه شده است. باتوجه به نتایج گزارش شده 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 مشاهده شد (حدوداً ۸۰ درصد کاهش نسبت به روز اول نگهداری) و به کارگیری 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 ۷۳٪ و ۷۵٪ درصد کاهش دهد. به احتمال این حالت به دلیل ترکیبات زیست‌فعال و ضد میکروبی (به ویژه ایزو-منتول و منتول) موجود در اسانس نعناع فلفلی است (Mokhtarian, 2020). کیفیت خیارهای پوشش‌دهی شده با کیتوزان (حاوی اسید سالسیلیک)، طی ۱۲ روز نگهداری در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت و میزان ویتامین C، معادل ۱۲/۷ ~ میلی‌گرم/۱۰۰ گرم تعیین شد. میزان آفت ویتامین C خیارهای تیمار شده نسبت به نمونه کنترل معادل ۸٪ درصد گزارش شد که نسبت به پژوهش حاضر خیلی کمتر است. این حالت ممکن است به دلیل نقش محافظتی پوشش خوراکی کیتوزان و اسیدسالسیلیک 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, 2017). حضور اکسیژن می‌تواند موجب تخریب ویتامین C گردد. با این حال، به کارگیری پوشش خوراکی به دلیل ممانعت از تماس و انتشار گاز اکسیژن، می‌تواند سبب حفظ ویتامین C شود (Nasiri, 2017).

جدول ۲- پارامترهای سینتیک 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	$P(\%)$	C_0 (میلی‌گرم/۱۰۰گرم)	k_1	R^2_1	$P(\%)$	$R^2/P_1(\%)$	C_0 (میلی‌گرم/۱۰۰گرم)	K_2	R^2_2	$P(\%)$	$R^2/P_2(\%)$	C_0 (میلی‌گرم/۱۰۰گرم)
پوشش (I)	۰/۳۳	۰/۸۳	۰/۰۰	۱۳۴/۸	۰/۰۹	۰/۹۱	۱۳/۷۹	۰/۰۶	۵/۹۷	۰/۰۳	۰/۹۸	۲۳/۴۹	۰/۰۴	۶/۰۰
پوشش (II)	۰/۳۵	۰/۸۷	۰/۰۴	۲۰/۲۵	۰/۰۸	۰/۹۵	۸/۳۷	۰/۱۱	۶/۹۱	۰/۰۲	۰/۹۹	۶/۷۶	۰/۱۴	۷/۳۹
پوشش (III)	۰/۳۴	۰/۹۳	۰/۰۰	۱۳۹/۴	۰/۰۸	۰/۹۹	۲/۴۱	۰/۴۱	۷/۳۷	۰/۰۲	۰/۹۹	۱۵/۴۶	۰/۰۶	۸/۱۹

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 ۱۰۰ میلی‌گرم اسانس نعناع فلفلی مدول میاتگین آنحرف نسبی یا $P(\%)$ یکی از شاخص‌های آماری بوده که جهت اعتبار سنجی مدل‌های ریاضی به کار می‌رود. این شاخص آماری توسط رابطه $|\text{Fit } C_{0,t} - \text{Vit } C_{0,t}| / \text{Vit } C_{0,t} = \frac{100}{N} \sum_{t=1}^N$ محاسبه می‌شود. در این رابطه، زیرپوش‌های e 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 تبیین به میاتگین آنحرف نسبی ($R^2/P_1(\%)$) استفاده شد. مقادیر بالاتر این شاخص، بیان‌گر دقت بالای مدل در پیش‌بینی می‌باشد.

گسترش فساد و نرخ توسعه باکتری‌ها و قارچ‌ها عمر ماندگاری کوتاه خیار گلخانه‌ای (< ۱۴ روز) و آفت ویژگی‌های کیفی محصول، به‌شدت به نرخ توسعه میکروارگانیسم‌ها وابسته بوده و تغییرات فیزیکی و شیمیایی ایجاد شده پس از برداشت محصول (آفت رطوبت، افزایش نرخ شدت تنفس، تخریب و اکسایش ترکیبات زیست‌فعال و غیره) در شدت گسترش فساد میکروبی بسیار کارآمد است. در حقیقت، محدوده میکروبیولوژیکی قابل قبول برای باکتری‌های هوازی کل و قارچ‌ها، ۵ لگاریتم واحد تشکیل‌دهنده کلنی در گرم گزارش شده است (Mohammadi, 2015b). 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. باوجوداینکه، نرخ توسعه باکتری‌های مزوفیل، کپک و مخمر خیار گلخانه‌ای فاقد پوشش (نمونه کنترل) بعد از ۱۶ روز نگهداری به ترتیب $1/78 \sim$ ، $33/79 \sim$ و $1/72 \sim$ توسعه یافت، نرخ رشد میکروارگانیسم‌های یادشده در نمونه (III) و در شرایط مشابه، به ترتیب $1/59 \sim$ ، $31/92 \sim$ و $1/64 \sim$ 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، درخصوص نقش هم‌افزایی اسانس‌های گیاهی در هم‌تنیده‌شده در ساختار پلی‌مرهای خوراکی گزارش شده است (Mohammadi, 2015a; Mohammadi, 2015b). همبستگی قوی و منفی ($r = -0/90$ و $R^2 = 0/81$) بین پارامتر نسبت توسعه باکتری به قارچ (B/F) در زمان‌های نگهداری گوناگون، این مطلب را تأیید می‌نماید.

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 تشکیل دهنده کلنی در گرم)			زمان نگهداری (روز)	نوع پوشش خوراکی
	قارچ (F)		باکتری (B)		
	خمیر	کپک	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±۰/۰۱ ^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±۰/۰۳ ^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	۶/۹۵±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 در هر ستون می‌باشند ($P < 0.05$).

می‌شود، بلکه با حفظ خواص ضدآکسیدانی 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 $(\frac{R^2}{P(\%)} = 139/4)$ که متناظر با کمترین نسبت (B/F) است $(\frac{B}{F} \sim 0/75)$. این حالت ممکن است به دلیل ترکیبات ترپنوئیدی (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 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

در پژوهش‌های پیشین به فعالیت ضدباکتریایی ویتامین C در برابر باکتری‌های پاتوژن (باسیلوس سوبتیلیس^۱، اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس^۲) اشاره شده است (Mohammadi, 2015b). فعالیت ضدباکتریایی ویتامین C به‌صورت تنها یا در ترکیب با اسید لاکتیک روی باکتری اشریشیاکلی (O157:H7) در شرایط آزمایشگاهی و مدل غذایی (آب‌میوه هویج) مورد بررسی قرار گرفت. به‌کارگیری 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, 2015b).

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

¹ *Bacillus subtilis*

² *Staphylococcus aureus*

کوشکی: جمع‌آوری داده، آنالیز داده‌ها؛ بهروز جنت: تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها.

برخود لازم می‌دانند که از معاونت پژوهشی مرکز یادشده به‌دلیل مساعدت‌های مالی جهت اجرای این طرح پژوهشی صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

محسن مختاریان: نوشتن پیش‌نویس مقاله، ارائه ایده پژوهشی و طراحی مطالعه، تأیید نسخه نهایی؛ فاطمه

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, 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.08.006>
- Barros, A. D. S., Morais, S. M. D., Ferreira, P. A. T., Vieira, I. G. P., Craveiro, A. A., Fontenelle, R. O. D. S., Menezes, J. E. S. A. D., Silva, F. W. F. D., & Sousa, H. A. D. (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>
- Chauhan, R. S., Kaula, M. K., Shahia, A. K., Kumara, A., Rama, 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(2-3), 654-656. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.12.003>
- Dehghani, P., Hosseini, S. M. H., Golmakani, M. T., Majdinasab, M., & Esteghlal, S. (2017). 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>
- Fahlen, A., Walander, M., & Wennersten, R. (1997). Effect of light-temperature regime on 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<111::AID-JSFA686>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199701)73:1<111::AID-JSFA686>3.0.CO;2-2)
- FAO. (2018). FaoStat Database. Available from <http://faostat.fao.org>.
- Gracindo, L. A. M. B., Grisi, M. C. M., Silva, D. B., Alves, R. B. N., Bizzo, H. R., & Vieira, R. F. (2006). Chemical characterization of mint (*Mentha* spp.) germplasm at Federal District, Brazil. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 8, 5-9.
- 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, 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-Food Science and Technology*, 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, 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 Biological 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 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. G., Mkandawire, M., Chiputula, J., & Nyirenda, K. S. (2013). Evaluation of sensory quality attributes and extent of vitamin C degradation in dried pineapple, mango and banana fruit pieces pretreated 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. (2015a). 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. (2015b). Postharvest treatment of nanochitosan-based coating loaded with *zataria multiflora* essential oil improves antioxidant activity and extends shelf-life of cucumber. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 580-588. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.10.015>
- Mokhtarian, M., Kalbasi-Ashtari, A., & Xiao, H. W. (2020). 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). <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*). *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), 1618-1627. <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.5.7>.
- Noshirvani, N., Fasihi, H., & Rahmati-Yavandi, J. (2015). Shelf-life extension of cucumber by active coating based on CMC containing ginger and savory essences. *3rd National Conference on Medical Plant and sustainable agriculture*, [in Persian]. <https://civilica.com/doc/416537/>
- Qin, Y., Liu, D., Wu, Y., Yuan, M., Li, L., & Yang, J. (2015). Effect of PLA/PCL/cinnamaldehyde antimicrobial packaging on physicochemical and microbial quality of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biological Technology*, 99, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.07.018>
- Rahimi, S., & Abasi, S. (2014). Characterization of some physicochemical and gelling properties of Persian gum. *Innovative Food Technologies*, 1(4), 13-27 [in Persian]. <https://doi.org/10.22104/jift.2014.47>
- Rocha, R. P., Melo, E. C., & Radünz, L. L. (2011). Influence of drying process on the quality of medicinal plants: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(33), 7076-7084. <https://doi.org/10.5897/JMPRx11.001>
- 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.arabjc.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, Rudehen, 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