University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Study on Sensory Characteristics of Pomegranate Arils (*Punica granatum* L.) Affected by Encapsulation of *Satureja bakhtiyarica* Essential Oil with Chitosan

Arefeh Mazrouei[1] | Keramatollah Saeidi[2]✉ | Zahra Izadi[3] | Abdolrahman Mohammadkhani[4]

1. Department of Horticultural Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: arefeh.mazrouei@stu.sku.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: saeidi@sku.ac.ir
3. Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: Z.izadi@sku.ac.ir
4. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: mohammadkhani@sku.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 13 February 2022
Received in revised form:
5 September 2022
Accepted: 19 September 2022
Published online: 24 June 2023

Keywords:
Appearance,
Nano emulsion,
Particle size,
Texture,
Zeta potential.

ABSTRACT

Since harvested horticultural products are highly perishable, those techniques should be used to increase their shelf life for their use in all seasons and their export. The effects of the encapsulation of *Satureja bachtiarica* essential oil with chitosan on the sensory and qualitative characteristics of pomegranate arils are studied in an experiment based on a completely randomized design with eight treatments including different w/w ratios of *S. bachtiarica* essential oil to chitosan (1:1, 1:2, and 1:3) at two spray levels of *S. bachtiarica* essential oil (0.3 and 0.6), and a pre-treatment and a post-treatment control, with three replications in the research laboratory of Shahrekord University in 2020-2021. Arils treated with the chitosan: essential oil ratio of 1-0.6 exhibit the best appearance and those treated with 2-0.3 and 3-0.3 exhibit the best taste. Based on the results, the diameter of the antimicrobial halo related to the fungus has been 2 mm in the essential oil treatment and 5.5 mm in the essential oil: chitosan ratio of 1:2. The highest encapsulation efficiency and the smallest particle size pertain to the treatment of 1:2. The ratio of 1:3 show higher efficiency than the ratio of 1:1 (55.1% versus 51.2%). The lowest zeta potential is obtained from the 1:3 ratio and the highest from the 1:1 ratio. Coating pomegranate arils and selecting an appropriate concentration of *S. bachtiarica* with chitosan coating (1-0.3 and 2-0.3) can significantly contribute to preserving the shelf life, marketability, and nutritional quality of pomegranate arils.

Cite this article: Mazrouei, A., Saeidi, K., Izadi, Z., & Mohammadkhani, A. (2023). Study on Sensory Characteristics of Pomegranate Arils (*Punica granatum* L.) Affected by Encapsulation of *Satureja bakhtiyarica* Essential Oil with Chitosan. *Journal of Crops Improvement*, 25 (2), 505-520. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2022.339074.2682

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2022.339074.2682

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

مطالعه ویژگی‌های حسی دانه‌های انار (*Punica granatum* L.) تحت تأثیر درون‌پاشی اسانس مرزه بختیاری با کیتوزان

عارفه مزروعی[۱] | کرامت الله سعیدی[۲]✉ | زهرا ایزدی[۳] | عبدالرحمان محمدخانی[۴]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، رایانامه: arefeh.mazrouei@stu.sku.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، رایانامه: saeidi@sku.ac.ir

۳. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، رایانامه: z.izadi@sku.ac.ir

۴. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، رایانامه: mohammadkhani@sku.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۰۳

کلیدواژه‌ها:
اندازه ذرات،
بافت،
پتانسیل زتا،
ظاهر،
نانو امولسیون.

چکیده

ازآنجایی‌که محصولات باغبانی برداشت‌شده قابلیت فسادپذیری بالایی دارند، به‌کارگیری فنون مناسب جهت افزایش ماندگاری به‌منظور استفاده در تمام فصول سال و هم‌چنین صادرات ضروری است. پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ با هدف بررسی اثرات درون‌پاشی اسانس مرزه بختیاری با کیتوزان بر خصوصیات حسی و کیفی دانه انار در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار شامل نسبت‌های وزنی- وزنی اسانس به کیتوزان (۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳) در دو سطح پاشش اسانس مرزه بختیاری (۰/۳ و ۰/۶) به‌همراه دو شاهد قبل و بعد از اعمال تیمارها با سه تکرار در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. نتایج نشان داد که بهترین وضعیت ظاهری دانه‌های انار در نسبت ۰/۶-۱ کیتوزان به اسانس و بهترین مزه دانه‌های انار در تیمارهای ۰/۳-۲ و ۰/۳-۳ مشاهده شد. در تیمار اسانس قطر هاله ضد میکروبی مربوط به قارچ ۲ میلی‌متر و در نسبت ۱:۲ اسانس به کیتوزان ۵/۵ میلی‌متر نشان داده شد. بیش‌ترین بازده درون‌پوشانی و کوچک‌ترین اندازه ذره مربوط به نسبت ۱:۲ بود. میزان بازده در نسبت‌های ۱:۳ (۵۵/۱ درصد) و نسبت ۱:۱ (۵۱/۲ درصد) نشان داده شد. کم‌ترین پتانسیل زتا در نسبت ۱:۳ و بیش‌ترین میزان در نسبت ۱:۱ حاصل شد. پوشش‌دهی دانه‌های انار و انتخاب غلظت مناسب اسانس مرزه بختیاری همراه با پوشش کیتوزان (۰/۳-۱ و ۰/۳-۲)، می‌توان زمان ماندگاری، بازارپسندی و کیفیت تغذیه‌ای دانه انار را به میزان مناسب و قابل توجهی حفظ کرد.

استناد: مزروعی، عارفه؛ سعیدی، کرامت الله؛ ایزدی، زهرا و محمدخانی، عبدالرحمان (۱۴۰۲). مطالعه ویژگی‌های حسی دانه‌های انار (*Punica granatum* L.) تحت تأثیر درون‌پاشی اسانس مرزه بختیاری با کیتوزان. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۲)، ۵۰۵-۵۲۰. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2022.339074.2682

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2022.339074.2682

۱. مقدمه

محصولات مختلف کشاورزی شامل میوه‌ها و سبزی‌ها پس از برداشت بسیار سریع فاسد می‌شوند و ماندگاری آن‌ها بسیار کوتاه می‌باشد، بنابراین به‌کارگیری فنون و روش‌های مناسب جهت افزایش قابلیت ماندگاری به‌منظور استفاده در تمام فصول سال و صادرات ضروری است (García-Pastor *et al*., 2020). انار با نام علمی *Punica granatum* L. و نام انگلیسی Pomegranate، از ردهٔ نهاندانگان و متعلق به کوچک‌ترین خانوادهٔ گیاهی دولپه‌ای یعنی خانوادهٔ انار یا پونیکاسه با ۱۸ یا ۲n=۱۶ کروموزوم می‌باشد (Asgary *et al*., 2017). این میوه شامل ۷۸ درصد عصاره میوه و ۲۲ درصد بذر می‌باشد. عصاره میوه حاوی مقادیر قابل‌توجهی از مواد جامد محلول، قندهای احیا، قند کل، ویتامین‌های A، B و C، آنتوسیانین، ترکیبات فنلی، آسکوربیک‌اسید و پروتئین‌ها می‌باشد (Varasteh *et al*., 2017). انار یکی از محصولات باغی پرارزش و صادراتی کشور محسوب می‌شود که به‌طور وسیع در بسیاری از کشورهای گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشت می‌شود. انار ایران به‌دلیل کیفیت مرغوب از نظر صادرات به خارج از کشور در بین محصولات کشاورزی، محصولی بی‌رقیب بوده و از نظر اقتصادی دارای اهمیت فراوان است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۶). در بین کشورهای تولیدکننده دنیا، ایران دارای بیش‌ترین سطح زیر کشت، بالاترین میزان تولید محصول و هم‌چنین دارای غنی‌ترین ذخایر ژنی انار در جهان محسوب می‌شود (Sepahvand *et al*., 2017). بنابراین ایران با داشتن حدود ۹۰ هزار هکتار سطح زیر کشت انار و تولید حدود ۹۱۷ هزار تن میوه در سال یکی از مهم ترین کشورهای تولیدکننده و صادرکننده انار در دنیا می‌باشد که میزان صادرات آن در سال بالغ بر ۱۲ هزار تن است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹).

امروزه عرضه میوه‌ها به‌صورت آماده مصرف از ارزش اقتصادی بالایی برخوردار می‌باشد، ولی میوه برش‌خورده معمولاً در پس از برداشت و زمان نگهداری دچار قهوه‌ای‌شدن آنزیمی شده و با حمله عوامل بیماری‌زا مواجه می‌شود (Hussein *et al*., 2020). میوه‌ها به‌عنوان سیستم بیولوژیکی زنده، پس از برداشت از بین می‌روند. میزان زوال و پیری به میزان زیادی در میان محصولات متفاوت بوده و بستگی به شدت متابولیسم آن‌ها دارد (García-Pastor *et al*., 2020). با توجه به شدت متابولیسم و تسریع فرایند پیری در اکثر میوه‌ها در مرحله پس از برداشت، نیاز به زنجیره پیشرفته بازاررسانی و فناوری‌های پس از برداشت به‌منظور افزایش کیفیت فرآورده و افزایش ماندگاری آن ضروری می‌باشد (O'Grady *et al*., 2014; Asgary *et al*., 2017). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که رابطه‌ای معکوس بین شدت تنفس و مدت زمان ماندگاری میوه و سبزی در دوره پس از برداشت وجود دارد (Varasteh *et al*., 2017; Meighani *et al*., 2015). دیواره سلولی گیاهان، نقش اساسی را در تعیین بافت میوه‌ها و سبزی‌ها ایفا می‌نماید. طی نرم‌شدن میوه، پکتین و همی‌سلولز تجزیه می‌شوند. استحکام بافت اکثر میوه‌ها طی فرایند رسیدن بر اثر عمل پکتینولیتیک کاهش می‌یابد. امروزه از پوشش‌های خوراکی جهت جلوگیری از تغییرات نامطلوب کیفی محصولات مختلف استفاده می‌شود. کاربرد فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی روش مناسب و نوآورانه‌ای از نظر اقتصادی و تغذیه‌ای می‌باشد که می‌توانند با به تأخیرانداختن کاهش از دست‌دادن آب، حفظ ترکیبات معطر، کاهش تنفس و تأخیر در تغییرات ساختاری موجب افزایش ماندگاری محصولات غذایی شوند (راد و همکاران، ۱۳۹۹؛ Song *et al*., 2016). پوشش‌های خوراکی نرم‌شدن را کاهش می‌دهند، بنابراین مدت زمان نگهداری در بسیاری از میوه‌ها افزایش می‌یابد (Wang *et al*., 2018). پوشش از دو طریق طعم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی به‌طور مستقیم از طریق تجمع ترکیبات فرّار در میوه در نتیجه کاهش نفوذپذیری و دیگری توسط تغییر متابولیسم بافت میوه، پوشش‌ها با ایجاد لایه نیمه‌نفوذپذیر تبادل گازهای تنفسی را کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش تنفس و فرایندهای آنزیمی می‌شوند که نتیجه آن افزایش ماندگاری و حفظ ساختار بافت محصول است (Candir *et al*., 2018; Anis *et al*., 2021).

نانو امولسیون‌ها داری فعالیت علیه طیف وسیعی از باکتری‌ها، ویروس‌های پوشش‌دار، اسپورها و قارچ‌ها هستند. در ساختار نانو امولسیون‌ها از مواد ضدمیکروب نیز استفاده می‌گردد. بنابراین انرژی و ماده مؤثره در نانو امولسیون برای خاصیت ضدمیکروبی آن مهم است (Feyzioglu & Tornuk, 2016). خشک‌کن انجمادی نیز فرایند آبگیری است که با انجماد مواد و سپس کاهش فشار محیط سبب می‌شود تا آب منجمدشده در ماده به‌طور مستقیم از فاز جامد به فاز گازی تصعید شود (Razavizadeh *et al*., 2014). در نتیجه برای آبگیری مواد حساس به حرارت و آروماها استفاده می‌شود. پایداری دیواره‌ها یک شرط مهم برای حفظ ترکیبات مولد طعم و بو محسوب می‌شود. عوامل متعددی نظیر جنس ماده دیواره، نسبت هسته به دیواره، روش ریزپوشانی و شرایط نگهداری، بر پایداری و حفظ ترکیب ریزپوشانی‌شده در مقابل اکسیداسیون مؤثر هستند (Feyzioglu & Tornuk, 2016). اسانس‌ها ترکیباتی طبیعی، بی‌رنگ، متشکل از الکل، آلدئید و استر هستند که دارای بوی مخصوص به خود بوده و وزن مولکولی آن‌ها کم‌تر از آب می‌باشد. اسانس‌ها فرّار بوده و از آن به‌عنوان طعم‌دهنده‌های غذا، آنتی‌اکسیدان و آنتی‌باکتریال استفاده‌های زیادی می‌شود (Hamedi *et al*., 2017; Pareek *et al*., 2015).

از مشکلات عمده انبارمانی آریل‌های انار، فساد میوه در اثر رشد عوامل بیماری‌زای قارچی، کاهش وزن و کیفیت ظاهری آریل‌ها در اثر تعرق و از دست‌دهی رطوبت می‌باشد. استفاده از آریل‌های تازه و آماده برای مصرف، گزینه‌ای مناسب برای جلب توجه مصرف‌کننده است. این حالت، آریل‌های تازه با حداقل فراوری[1] یا آریل‌های آماده مصرف[2] نام دارد که حالت خاصی از محصولات تازه برش‌یافته است. در محصولات تازه برش یافته به‌علت زخمی که در بافت میوه ایجاد می‌شود، تنفس و تولید اتیلن افزایش یافته و مواد درون واکوئل و مواد سیتوپلاسمی با هم ترکیب می‌شوند. گاهی هم این زخم‌های ایجادشده تولید اتیلن را افزایش می‌دهد و اتلاف آب و رشد میکروبی نیز افزایش می‌یابد (Taheri *et al*., 2019)، این فرایندها طعم و رنگ محصول را نامطلوب کرده، محصول نرم‌شده، انبارمانی آن کاهش می‌یابد و ویتامین‌ها و مواد مغذی را از دست می‌دهد (Hussein *et al*., 2020). با توجه به این‌که ایران در زمینه تولید و عرضه خارج از فصل میوه انار در بازارهای داخلی و هم‌چنین صادرات این محصول فعالیت می‌نماید، فرایندهایی که در مرحله پس از برداشت سبب افزایش ماندگاری آن شود، بسیار دارای اهمیت است. بروز هر نوع مشکلی در کیفیت انار می‌تواند به کاهش میزان درآمد باغداران و صادرکنندگان انار منجر شود و بخش مهمی از صادرات این محصول از دست برود. برای کاهش ضایعات انار کاربرد موادی که بتواند به نگهداری و حفظ کیفیت آن کمک کند، دارای اهمیت می‌باشد. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر اسانس مرزه بختیاری کپسوله‌شده در پوشش پلی‌ساکاریدی کیتوزان بر خصوصیات حسی و کیفی دانه انار برداشت‌شده می‌باشد.

۲. پیشینه پژوهش

کیتوزان از مهم‌ترین پوشش‌های خوراکی می‌باشد که سه مکانیسم برای خاصیت ضدمیکروبی کیتوزان وجود دارد؛ بارهای مثبت موجود بر روی زنجیر پلی‌متریک کیتوزان که مربوط به گروه‌های آمینو آن است با بارهای غیرهم‌نام موجود در دیواره باکتری‌ها واکنش داده و سبب نابودی آن‌ها می‌شود (Karimirad *et al*., 2019; Serrano-León *et al*., 2018). ویژگی آب‌دوستی کیتوزان، خصوصیت مهمی برای تشکیل نانوذرات است. حفره‌های آب‌گریز می‌توانند به‌عنوان انبار یا محفظه‌ای برای مواد زیست‌فعال گوناگون عمل کنند (Sotelo-Boyás *et al*., 2017). کپسوله‌شدن اسانس‌های روغنی در نانوذرات پلیمری می‌تواند اثرات مثبت چنین ترکیباتی را بهبود دهد و کیتوزان به‌عنوان نانوپلیمر زیست

1. Fresh arils minimally processed
2. Ready-to-eat

تخریب‌پذیر به‌دلیل کپسوله‌کردن بهتر، رهاسازی کنترل‌شده و سمیت پایین در انتقال عصاره دارویی بسیار موردتوجه می‌باشد (Hosseini *et al*., 2013).

وقتی نانوامولسیون به اندازه کافی به پاتوژن ملحق شد، انرژی که در آن ذخیره شده است، آزاد می‌گردد و به این ترتیب غشای لیپیدی پاتوژن ناپایدار و موجب هضم سلول شده و مرگ آن را باعث می‌شود که یکی از سازوکارهای اصلی نانوامولسیون‌ها در از بین‌بردن میکروارگانیسم‌هاست (حسن‌زاده اوچتپه و همکاران، ۱۳۹۷). علاوه بر آن، کاهش اندازه ذرات در حد نانو می‌تواند دسترسی زیستی، ویژگی‌های تحویل و حلالیت مواد مغذی را بهبود ببخشد که به‌دلیل افزایش سطح به‌ازای واحد حجم و در نتیجه افزایش فعالیت بیولوژیکی آن‌ها ست (حسن‌زاده اوچتپه و همکاران، ۱۳۹۷). درون‌پوشانی به روش‌های مختلفی از جمله خشک‌کردن پاششی، پوشش‌دهی بستر سیال، اکستروژن، خشک‌کردن انجمادی، محصورسازی لیپوزومی و روش تبلور و غیره انجام می‌شود (Kamali *et al*., 2012). کاربرد اسانس‌های گیاهی با توجه به نقش آنتی‌اکسیدانی آن‌ها، از قهوه‌ای‌شدن آنزیمی جلوگیری می‌کند. علاوه بر این خواص ضدمیکروبی برخی اسانس‌ها نیز به اثبات رسیده است (Qu *et al*., 2020). اسانس مرزه به‌دلیل داشتن ترکیبات فنلی دارای ویژگی‌های ضدمیکروبی و ضداکسایشی بالایی می‌باشد. آنالیز ترکیبات سازنده اسانس نشان داده است که کارواکرول به‌عنوان جزء اصلی اسانس محسوب می‌شود که ۹۲/۸ درصد کل ترکیبات فنلی اسانس مرزه را تشکیل می‌دهد. پژوهش‌های زیادی انجام شده است تا مشخص گردد کدام‌یک از گروه‌های عاملی یا ساختارهای فضایی ترکیبات سازنده اسانس مسئول خاصیت آن‌ها هستند (Shojaee-Aliabadi *et al*., 2013).

در سال‌های اخیر پژوهش‌های فراوانی برای استفاده از نانولیپوزم‌ها به‌منظور درون‌پوشانی اسانس‌های طبیعی گیاهان انجام شده است. استفاده از نانولیپوزوم‌ها در درون‌پوشانی اسانس‌های شوید (*Anethum graveolens*) (Ortan *et al*., 2009)، آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*) (Khatibi *et al*., 2016) و نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) (قره‌نقده و همکاران، ۱۳۹۶) از جمله این پژوهش‌ها می‌باشند. در پژوهشی به بررسی تأثیر پوشش کیتوزان (۰ یا ۱ درصد) و بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته بر کیفیت پس از برداشت و ترکیبات مؤثره میوه‌های انار پرداختند. نتایج نشان داد، پوشش کیتوزان، اتمسفر تغییر یافته و کیتوزان+ اتمسفر تغییر یافته سبب بهبود رنگ پوست، اسیدیته کل و محتوای آسکوربیک‌اسید در مقایسه با گروه شاهد شد. پوشش کیتوزان و اتمسفر تغییریافته و تیمار اتمسفر تغییریافته به‌طور معنی‌داری کاهش وزن و ترک‌خوردگی پوست را کم کرد. پوشش کیتوزان به‌تنهایی بیش‌ترین تأثیر را در کنترل آسیب قارچی در طول نگهداری در دمای سرد داشت. آریل‌های تحت تیمار پوشش کیتوزان دارای رنگ قرمز بیش‌تر، فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیش‌تر، آنتوسیانین کل و فنل کل بودند (Candir *et al*., 2018). در پژوهشی دیگر نقش مؤثر اسانس گیاه مریم گلی و شکل امولسیون‌شده آن بر روی پاتوژن‌های مهم مرتبط با مواد غذایی و میکروارگانسیم‌های فساد را بررسی و بیان نمودند که نانوامولسیون مریم گلی اثر مهاری شدید بر روی باکتری‌ها دارد و از آن می‌توان به‌عنوان یک افزودنی ضدمیکروبی طبیعی برای صنایع غذایی استفاده کرد (Yazgan, 2020).

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳. ۱. آماده‌سازی نمونه و پوشش‌دهی دانه‌های انار

به‌منظور بررسی درون‌پاشی اسانس مرزه بختیاری با کیتوزان بر ماندگاری و کیفیت دانه انار، آزمایشی در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار شامل نسبت‌های وزنی-وزنی اسانس به کیتوزان (۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳) در دو سطح پاشش اسانس مرزه بختیاری (۰/۳ و ۰/۶) به‌همراه ۲ شاهد در مرحله قبل و بعد از اعمال تیمارها با سه تکرار در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. بدین منظور انار دانه سیاه نیریزی، از یکی از باغ‌های نیریز استان فارس در زمانی که انارهای باغ در منطقه به‌طور معمول برداشت می‌شدند، خریداری شد. از بین انارهایی که باغدار برداشت

کرده بود، انارهای یکنواخت انتخاب شدند و از بین آن‌ها به‌صورت تصادفی تعدادی برای اعمال تیمار انتخاب شدند و در نهایت آزمایش روی آن‌ها انجام شد. میوه‌های سالم و بدون ترک خوردگی انار به آزمایشگاه جهت اعمال تیمارها انتقال داده شدند. ابتدا میوه‌ها با آب مقطر شسته و سپس خشک شدند. سپس به‌کمک چاقوی تیز از ناحیه مرکزی به دو نیم بریده و دانه‌های انار به‌صورت دستی و در شرایط بهداشتی ایزوله، از پوست جدا شدند. برای اطمینان از یکنواختی نمونه‌ها، دانه‌ها با یکدیگر مخلوط شدند. تیمارها به روش پاششی (سطوح پاشش ۰/۳ و ۰/۶ درصد) تهیه و در مقادیر ۵۰ گرمی در ظروفی از جنس پلی‌اتیلن در یخچال به‌مدت یک ماه نگهداری شد.

۳. ۲. استخراج اسانس و شناسایی ترکیبات مؤثره در گیاه مرزه بختیاری

اسانس اندام‌های هوایی گیاه مرزه بختیاری در مرحله گلدهی کامل تهیه شد. پس از اسانس‌گیری با استفاده از دستگاه کلونجر (تقطیر با آب)، مقداری سولفات‌سدیم خشک به آن اضافه و در ظرف درب بسته تیره رنگ، دور از نور و در یخچال تا زمان آنالیز و استفاده نگهداری شد. جداسازی و شناسایی ترکیبات اسانس با استفاده از دستگاه‌های گاز کروماتوگرافی (GC) و گاز کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS) (مدل Agilent 5973N High performance turbo و Agilent 6890 plus GC، ساخت آمریکا) (ستون HP-5ms، طول ۳۰ متر، فیلم ۰/۲۵ میکرومتر و ID ۰/۲۵ میلی‌متر) انجام گرفت. ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس با استفاده از زمان بازداری ترکیبات، اندیس بازداری طیف جرمی و مقایسه این پارامترها با ترکیب‌های استاندارد یا اطلاعات موجود در کتابخانه شناسایی شدند (Hamedi *et al*., 2017).

۳. ۳. آماده‌سازی نانوذرات امولسیونی کامپوزیت روغن‌های فرّار

به‌منظور آماده‌سازی نانوذرات امولسیونی کامپوزیت روغن‌های فرّار، نانوامولسیون روغن در آب (O/W) تهیه شد. به این ترتیب که ابتدا محلول کیتوزان تهیه (۰/۵ گرم کیتوزان مدیوم پودری سیگما درون ۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه با مگنت استیرر (مدل RC مارک ولپ، ساخت ایتالیا) حل گردید و pH آن توسط pHمتر (مدل MTT65، ساخت ژاپن) روی ۵/۵ تنظیم شد) و با اضافه‌کردن توئین ۸۰ به کامپوزیت روغن فرّار، فاز روغنی به‌دست آمد تا جایی‌که غلظت توئین به یک درصد رسید. محلول کیتوزان به آرامی و قطره قطره، به محلول که توسط همزن در حال همگن‌شدن است اضافه شد و پس از ایجاد یک مخلوط همگن، روغن فرّار براساس یک نسبت (جرمی/جرمی) ۱:۱ و ۱:۲ و ۱:۳ اضافه شد و سپس در دستگاه هموژنایزر (مدل SR-30، ساخت کره جنوبی) قرار داده شد و در نهایت خشک گردید. جهت تولید نانوکپسول، در ابتدا نانوامولسیون روغن فرّار آماده شد، سپس نانوامولسیون تهیه‌شده با استفاده از خشک‌کن انجمادی (مدل Sublimator-VACO5، ساخت آلمان) به‌صورت پودر درآمد (Zanetti *et al*., 2018).

۳. ۴. بررسی ویژگی‌های فیزیکو– شیمیایی نانوکپسول‌ها

۳. ۴. ۱. بازده انکپسولیشن (Encapsulation efficiency: EE)

جهت ارزیابی بازده‌ی نانو–انکپسولیشن، محتوای فنلی کل (TPC)[1] براساس روش فولین–سیوکالتو[2] با اندکی تغییرات اندازه‌گیری شد (Radünz *et al*., 2018). در نهایت طبق فرمول (۱) بازده نانو– انکپسولیشن به‌دست آمد.

$$EE\ (\%) = \frac{TPC of the oil - (TPC of nanocapsole - Derived Solution)}{TPC of the oil} \times 100 \qquad \text{رابطهٔ ۱)}$$

1. Total Phenolic Content
2. Folin-Ciocalteu reagent

۳. ۴. ۲. بررسی ساختار مولکولی

برهم‌کنش مولکول‌ها و ساختار مولکولی تمام اجزای نانوکپسول‌های به‌دست‌آمده با بهره‌گیری از طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (مدل Fourier transformation infrared spectroscopy: FT-IR-Jasco 6300، ساخت ژاپن) بررسی شد.

۳. ۴. ۳. بررسی اندازه و پتانسیل زتا

اندازه نانوکپسول‌ها و پتانسیل زتا با دستگاه زتاسایزر (مدل Nano partice Analyzer SZ-100، ساخت ژاپن) مجهز به لیزر در طول موج، قدرت (وات) و زاویه‌ی مناسب با تنظیمات مناسب آنالیز شد (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۹).

۳. ۴. ۴. آزمون بررسی اثر ضد قارچی

آزمون بررسی اثر ضد قارچی برای تیمارها براساس اصول کخ[1] (تست بیماریزایی) در فواصل زمانی مشخص انجام شد و نیز برای اسانس و کیتوزان براساس تست زیست‌سنجی قارچ صورت گرفت (Mounyr *et al*., 2016).

۳. ۴. ۵. ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی از مقیاس شاخص‌های دوسر[2] استفاده شد. بر این اساس پرسشنامه‌هایی تنظیم و نام شخص ارزیاب، کد نمونه، تاریخ مربوطه و یک اسکوربورد شامل امتیازات به‌ترتیب از یک تا پنج (بسیار مطلوب، نسبتاً مطلوب، نامطلوب، نسبتاً نامطلوب و بسیار نامطلوب) درج شد. نمره‌دهی نمونه‌ها براساس رنگ، بو، بافت و طعم و مزه صورت گرفت (García-Pastor *et al*., 2020).

۳. ۵. تجزیه آماری

داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۱/۹) تجزیه واریانس شد. در صورت معنی‌داربودن اثر عوامل آزمایشی، از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)[3] در سطح احتمال پنج درصد برای مقایسه میانگین تیمارها استفاده شد. هم‌چنین برای ارزیابی حسی بر پایه تیمارهای موردمطالعه، از آزمون ناپارامتری کروسکال–والیس[4] و به‌دنبال آن برای مقایسه میانگین داده‌های حسی از آزمون ناپارامتری من ویت نی[5] استفاده گردید.

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس مرزه بختیاری

نتایج آنالیز ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس مرزه بختیاری، ۲۷ ترکیب را در اسانس روغنی این گیاه نشان داد، به‌طوری‌که، تیمول (۲۵/۷۶ درصد)، بتا سیمن (۲۴/۴۴ درصد)، کارواکرول (۲۳/۰۳ درصد) و گاما ترپینن (۹/۴۹ درصد) بیش‌ترین میزان ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس روغنی گیاه را نشان دادند (جدول ۱).

1. Koch's rules
2. Hedonic scale
3. Least Significant Difference
4. Kruskal-Wallis
5. Mann-Whitney U

جدول ۱. ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس مرزه بختیاری درون‌پوشانی‌شده با پوشش کیتوزان

ردیف	نام ماده	زمان بازداری (min)	ترکیب (%)
۱	alpha.-Thujene	۷/۴۵۶	۰/۱۹
۲	alpha.-Pinene	۷/۵۹۱	۰/۶۳
۳	Camphene	۷/۸۷۷	۰/۴۳
۴	2-.beta.-Pinene	۸/۴۱۵	۰/۱۱
۵	beta.-Myrcene	۸/۶۶۴	۰/۵۵
۶	3-Octanol	۸/۷۶۲	۰/۱۲
۷	l-Phellandrene	۸/۹۱۷	۰/۱۱
۸	Alpha- Terpinene	۹/۱۴	۱/۳۸
۹	p-Cymene	۹/۲۸۳	۲۴/۴۴
۱۰	Limonene	۹/۳۵۵	۰/۳۸
۱۱	1,8-Cineole	۹/۴۲۵	۰/۱۸
۱۲	Cis -Ocimene	۹/۵	۰/۰۷
۱۳	beta.-trans-Ocimene	۹/۶۸	۰/۰۶
۱۴	gamma.-Terpinene	۹/۸۷۹	۹/۴۹
۱۵	cis-Sabinenehydrate	۱۰/۰۴۰	۰/۳۴
۱۶	alpha.-Terpinolene	۱۰/۳۸۷	۰/۱۸
۱۷	Linalool	۱۰/۵۴۸	۳/۵۳
۱۸	Borneol	۱۱/۶۶۲	۲/۷۴
۱۹	4-Terpineol	۱۱/۸۲۹	۰/۷۸
۲۰	Carvacrol Methyl Ether	۱۲/۷۷۹	۰/۲۷
۲۱	Thymol	۱۳/۴۴۵	۲۵/۷۶
۲۲	Carvacrol	۱۳/۵۹۳	۲۳/۰۳
۲۳	Thymyl acetate	۱۴/۳۳۲	۱/۱۷
۲۴	Carvacryl Acetate	۱۴/۵۸۷	۰/۵۱
۲۵	trans-Caryophyllene	۱۵/۳۲۶	۲/۲۴
۲۶	Alpha-humulene	۱۵/۷۶۱	۰/۱۰
۲۷	Aromadendrene	۱۷/۳۸۳	۱/۲۱

۴. ۲. ارزیابی حسی

براساس نتایج آزمون ناپارامتری کروسکال- والیس، تیمارهای مورد ارزیابی بر مزه و عطر انار در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری را نشان دادند. اگرچه اثر تیمار بر ظاهر و بافت دانه‌های انار در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بین تیمارهای مختلف در طول دوره نگهداری در شاخص‌های عطر (جدول ۲) و بافت دانه‌های انار (جدول ۲) در سطح پنج درصد آزمون LSD تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. بر طبق نتایج، بهترین ظاهر دانه‌های انار در نسبت ۰/۶-۱ کیتوزان به اسانس با میزان ۴/۸۰ حاصل شد، بین برخی از تیمارها در سطح پنج درصد آزمون LSD تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۲). هم‌چنین بهترین مزه دانه‌های انار در تیمارهای ۰/۳-۲ و ۰/۳-۳ با میزان ۳/۸۰ مشاهده گردید که با تیمار شاهد و دیگر نسبت‌های مورد بررسی تفاوت آماری معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲).

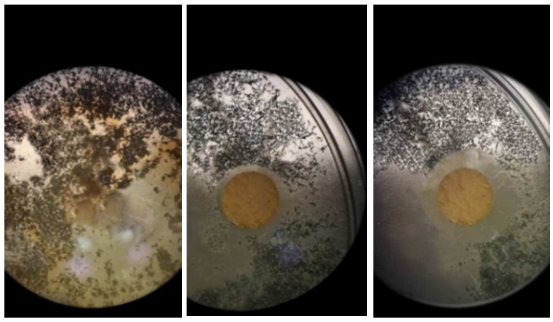
۴. ۳. آزمون ضدقارچی

نتایج آزمون ضدقارچی در شکل (۱) نشان داده شده است. بر طبق نتایج در تیمار اسانس قطر هاله ۲ میلی‌متر و در نسبت ۱:۲ کیتوزان قطر هاله ۵/۵ میلی‌متر، نشان داده شد، بنابراین نسبت ۱:۲ کیتوزان بیش‌ترین فعالیت ضدقارچی را به‌همراه داشت.

جدول ۲. تأثیر نسبت‌های کیتوزان به اسانس بر خصوصیات حسی میوه انار

تیمارهای موردبررسی	ظاهر	مزه	عطر	بافت
شاهد	۳/۴۰ ± ۰/۵۵b	۲/۰۰ ± ۰/۷۱b	۲/۴۰ ± ۰/۵۵b	۲/۸۰ ± ۰/۸۴b
۱:۱ –۰/۳	۴/۰۰ ± ۱/۰۰ab	۲/۰۰ ± ۱/۲۳b	۳/۸۰ ± ۰/۸۴a	۴/۰۰ ± ۰/۷۱a
۱:۱ –۰/۶	۴/۸۰ ± ۰/۴۵a	۲/۰۰ ± ۱/۲۳b	۴/۰۰ ± ۰/۷۱a	۴/۲۰ ± ۰/۴۵a
۱:۲ –۰/۳	۳/۴۰ ± ۱/۱۴b	۳/۸۰ ± ۰/۴۵a	۴/۲۰ ± ۰/۴۵a	۴/۰۰ ± ۰/۷۱a
۱:۲ –۰/۶	۳/۸۰ ± ۰/۸۴ab	۳/۰۰ ± ۰/۷۱ab	/۰۰ ± ۰/۷۱a	۴/۰۰ ± ۰/۷۱a
۱:۳ –۰/۳	۳/۲۰ ± ۱/۱۰b	۳/۸۰ ± ۰/۴۵a	۴/۰۰ ± ۰/۷۱a	۴/۲۰ ± ۰/۴۵a
۱:۳ –۰/۶	۴/۰۰ ± ۰/۷۱ab	۲/۰۰ ± ۱/۲۳b	۴/۲۰ ± ۰/۴۵a	۴/۰۰ ± ۰/۷۱a
LSD	۰/۲۹	۰/۸۷	۰/۲۳	۰/۲۶

میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.



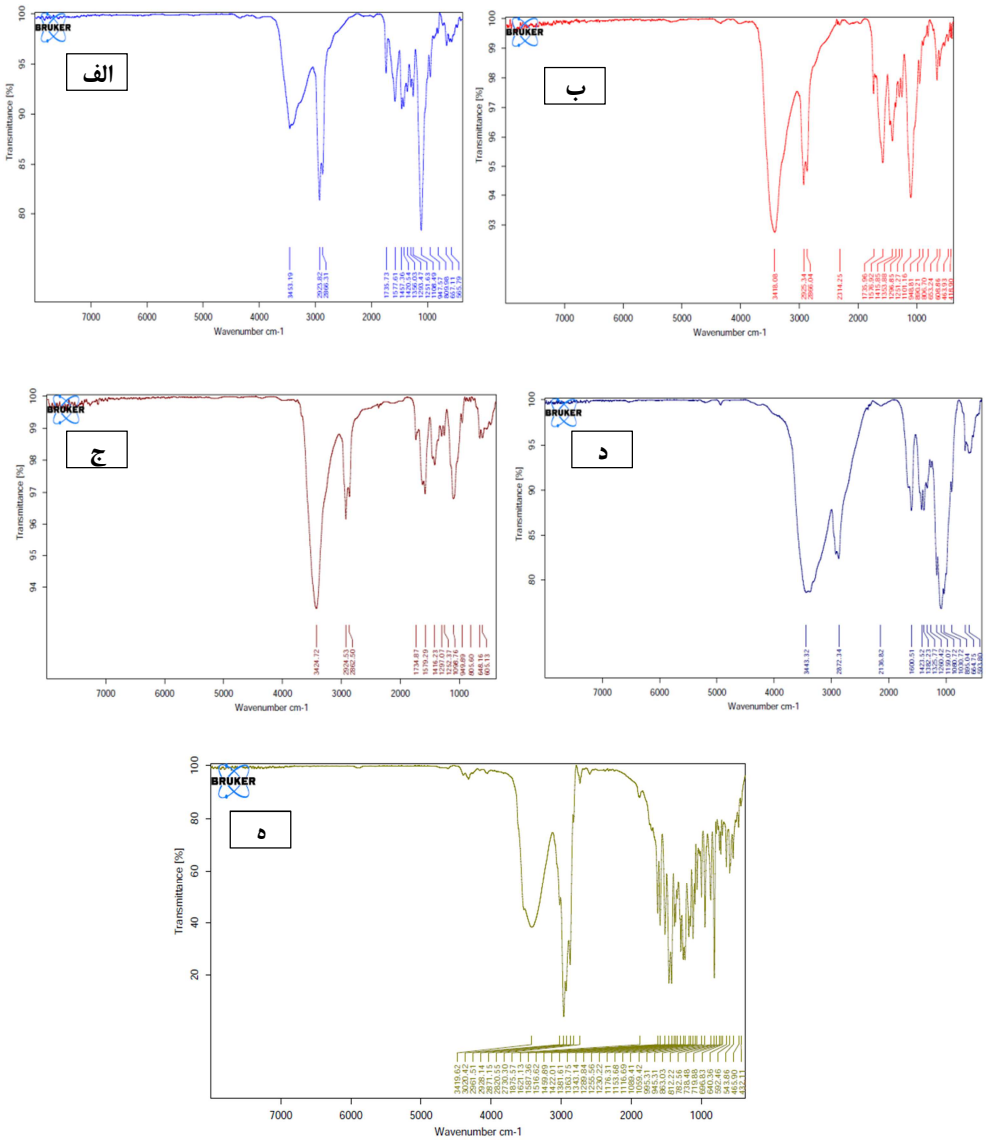
شکل ۱. تصاویر آزمون ضدقارچی به‌ترتیب از چپ به راست مربوط به شاهد، اسانس (قطر هاله ۲ میلی‌متر) و نسبت ۱ به ۲ (قطر هاله ۵/۵ میلی‌متر)

۴. ۴. بازده درون‌پوشانی

بیش‌ترین بازده درون‌پوشانی مربوط به نسبت ۱:۲ با میزان ۶۰/۷ درصد بود. هم‌چنین میزان بازده در نسبت‌های ۱:۳ (۵۵/۱ درصد) و نسبت ۱:۱ (۵۱/۲ درصد) نشان داده شد.

۴. ۵. بررسی ساختار مولکولی (FTIR)

ساختار شیمیایی و نوع گروه‌های عاملی کیتوزان و اسانس روغنی مرزه بختیاری سنتزشده با استفاده از طیف تبدیل فوریه زیر قرمز (FTIR) شناسایی شد (شکل ۲). پیک‌های مشاهده‌شده در نواحی ۱۰۸۰ تا ۱۰۸۵ نشان‌دهنده پیوندهای اتری مابین قندهای گلوکز آمین، پیک‌های شاخص حلقه آروماتیکی در اعداد موجی حدود ۱۴۶۰ و ۱۶۰۰ cm^{-1} است. هم‌چنین، پیک‌های ظاهرشده در محدوده ۳۳۵۰ تا ۳۴۵۰ cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی گروه هیدروکسیل (O-H) و N-H و پیک‌های ناحیه ۲۸۵۰ تا ۳۰۰۰ cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی کربن–هیدروژن (C-H) گروه‌های متیل و متیلن (به‌عنوان مثال گروه‌های متوکسیل) در حلقه پیرانوز است. پیک پهن در ناحیه ۳۵۰۰–۲۵۰۰ cm^{-1} مربوط به هیدروکسیل موجود در گروه کربوکسیلیک اسید است. نوار جذبی ظاهر شده در ۱۷۳۵ cm^{-1} مربوط به گروه کربونیل در گروه کربوکسیلیک است. هم‌چنین ویژگی اصلی نمونه‌ها در سه طیف، پیک‌های شاخص حلقه آروماتیکی در اعداد موجی حدود ۱۴۶۰ cm^{-1} و ۱۶۰۰ cm^{-1} است. افزون بر این جذب‌ها، جذب در ناحیه‌های بین ۶۵۰ تا ۱۰۰۰ cm^{-1} کشیدگی C-H حلقه پیرانوز و N-H (آمید) را نشان می‌دهد. ظاهرشدن پیک مربوط به دو گروه عامل C-H و O-H موجود در نانو ذره کیتوزان تأییدکننده وجود قند گلوکز آمین و هم‌چنین تأییدکننده اتصال قندهای گلوکز آمین به همدیگر و ایجاد ساختمان پلیمری است (شکل ۲).



شکل ۲. طیف‌های FTIR مربوط به کیتوزان و اسانس مرزه بختیاری نسبت ۱:۱ (الف)، نسبت ۱:۲ (ب)، نسبت ۱:۳ (ج)، کیتوزان (د)، اسانس مرزه بختیاری (ه) (منبع: یافته‌های تحقیق)

۴. ۶. اندازه ذرات (DLS)

بر طبق نتایج مشاهده گردید، نسبت ۱:۲ با ۳۱/۳ نانومتر کوچک‌ترین اندازه ذره را نشان داد. بزرگ‌ترین اندازه ذره نیز در نسبت ۱:۱ با میزان ۲۹۳/۶ نانومتر نشان داده شد (جدول ۳).

جدول ۳. بررسی سایز ذرات در بین نسبت‌های مختلف کیتوزان

نسبت‌های کیتوزان	میانگین سایز ذرات (نانومتر)
۱:۱	۲۹۳/۶
۱:۲	۳۱/۳
۱:۳	۱۵۸/۲۵

۴. ۷. پتانسیل زتا (Zeta)

نتایج نشان داد، کم‌ترین پتانسیل زتا در نسبت ۱:۳ با میزان ۴۳/۷۵ میلی‌ولت و بیش‌ترین پتانسیل زتا در نسبت ۱:۱ با میزان ۷۱/۸۵ میلی‌ولت مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ٤. بررسی پتانسیل زتا در بین نسبت‌های مختلف کیتوزان

نسبت‌های کیتوزان	پتانسیل زتا (میلی‌ولت)
۱:۱	۷۱/۸۵
۱:۲	۶۵/۳
۱:۳	۴۳/۷۵

۵. بحث

کیفیت ظاهری و خوراکی میوه (عطر، طعم و بافت) طی نگهداری در انبار به‌دلیل افزایش تنفس و فعالیت آنزیمی دانه‌های انار کاهش محسوسی می‌یابد. در نمونه‌های تحت تیمار به‌دلیل کاهش تنفس و حفظ بیش‌تر ترکیبات عامل عطر و طعم میوه، پذیرش کلی، بهتر ارزیابی شد. مهم‌ترین هدف استفاده از اسانس‌های گیاهی در پوشش‌های خوراکی، بهبود اثرات ضدقارچی، ضدمیکروبی، ضداکسایشی و خصوصیات نفوذپذیری پوشش‌های آبدوست است (Martinez-Abad *et al*., 2013) در کنار این اثرات مثبت، به‌علت وجود ترکیبات فرّار مولد عطر و طعم در اسانس‌ها، ممکن است از نظر حسی اثرات نامطلوب بر فرآورده پوشش داده شده داشته باشند، اما در این پژوهش مقادیر اسانس در پوشش به حدی نبود که بتواند بر خواص حسی نمونه‌های دانه‌های انار تأثیر نامطلوب داشته باشد.

وجود ترکیبات ثانویه در گیاهان دارویی سبب شده که در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای را به خود جلب کنند. به‌ویژه ترکیبات ضدمیکروبی موجود در گیاهان دارویی اهمیت این گیاهان را برای تولید آنتی‌بیوتیک‌های طبیعی و جدید در علوم پزشکی دوچندان ساخته است (Ahmad *et al*., 2012). استفاده از مواد مؤثره گیاهان دارویی به‌صورت نانوکپسول باعث کاهش واکنش ماده مؤثره گیاهی با محیط اطراف، مانند آب و اکسیژن، می‌شود و شدت انتقال یا تبخیر به محیط بیرونی را تقلیل می‌دهد (Wang *et al*., 2014). کپسوله‌کردن موجب می‌شود که آزادسازی تا زمان موردنظر و ایجاد محرک موردنظر برای شکست کپسول به تأخیر بیفتد و پس از شروع آزادسازی، مواد مؤثره به‌صورت یکنواخت در همه مخلوط پخش شوند (Xing *et al*., 2015). هنگامی‌که ماده تحت تأثیر فرایند کپسوله‌کردن قرار می‌گیرد در حقیقت با پوششی که چند برابر هسته است پوشانده می‌شود. به هنگام استفاده از این پوشش در مواد غذایی، تحت تأثیر آنزیم‌های داخلی و تغییرات محیطی نظیر تغییرات pH، دیواره پوشش باز و ماده هسته به آرامی آزاد می‌شود. از این‌رو، زمان تأثیر آن بیش‌تر می‌شود و به‌عبارت دیگر، فرایند کپسوله‌کردن به پایداری هسته کمک می‌کند (Sebaaly *et al*., 2015). اگرچه نمونه‌های موفقی در استفاده از ضدمیکروب‌های طبیعی به‌عنوان نگهدارنده مواد غذایی گزارش شده است، ممکن است بعضی از آن‌ها به‌دلیل انتشار سریع در بخش عمده مواد غذایی، اثرات ناکارآمد داشته و یا با اجزای مواد غذایی اثر متقابل نشان دهند که ممکن است باعث کاهش فعالیت ضدمیکروبی آن‌ها در برابر سلول هدف شود (Perrico *et al*., 2015). برخی پژوهش‌گران بر این عقیده‌اند که ترکیبات موجود در عصاره‌ها با تغییر در ساختار غشای سلولی باکتری و قارچ باعث تراوش آنزیم‌ها و مواد مغذی مختلف می‌شوند. کیتوزان با داشتن طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های ضدمیکروبی بازده مهاری متفاوتی در برابر قارچ و باکتری گرم مثبت و منفی نشان می‌دهد (Santos *et al*., 2017).

در مطالعه‌ای اثر ضدقارچی پوشش کیتوزان روی انگور زمانی حاصل شد که غلظت کیتوزان در محلول حداقل ۰/۲۵ درصد بود (Munoz & Moret, 2010). اسانس پونه کوهی، مرزه و آویشن اثرات معنی‌داری را در برابر پاتوژن‌های *Botrytis cinerea* و *Penicillium expansum* نشان دادند (Lopez-Reyes *et al*., 2010). در پژوهشی دیگر تأثیر کاربرد نانوذره کیتوزان و اسانس آویشن شیرازی نانوکپسوله شده در نانوذره کیتوزان بر توت فرنگی غوطه‌ور شده در سوسپانسیون *Botrytis cinerea* بررسی شد، پس از نُه روز نگهداری مشاهده گردید در غلظت ۱۵۰۰ میکرولیتر در لیتر، پایین‌ترین درصد آلودگی توت‌فرنگی‌ها بر اساس نانوکپسوله‌شده در نانوذره کیتوزان و بعد از آن برای نانوذره کیتوزان حاصل شد. این در حالی است که میوه‌های تیمار نشده آلودگی ۱۰۰ درصد نشان دادند (Mohammadi *et al*., 2015).

به‌طور کلی این دیدگاه وجود دارد که پایداری ترکیبات با افزایش کارایی درون‌پوشانی، افزایش می‌یابد و برای دستیابی به شرایط بهینه باید تا حد امکان سعی در افزایش کارایی درون‌پوشانی‌کردن نمود. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که نوع دیواره و هسته، ویژگی‌های امولسیون، شرایط نگهداری امولسیون تشکیل شده و پارامترهای خشک‌کردن، همه بر کارایی ریزپوشانی‌کردن اثر می‌گذارند (Song *et al*., 2016). در پژوهشی، کارایی ریزپوشانی‌کردن ترکیبات دارویی در پوشش کیتوزان با روش امولسیون‌سازی بسیار بالا و در گستره ۵۲/۲ تا ۸۰/۱ درصد برای تیمارهای مختلف به‌دست آمد (Ajun *et al*., 2009). طبق نتایج به‌دست‌آمده می‌توان اینگونه بیان نمود که ریزپوشانی‌کردن در پوشش کیتوزان توسط روش امولسیون از نظر کارایی نسبتاً موفقیت‌آمیز بوده و بهتر است از این روش‌ها در تکنیک ریزپوشانی‌کردن بهره گرفته شود. بیش‌ترین میزان کارایی درون‌پوشانی مربوط به نسبت ۱:۲ بود، افزایش غلظت باعث کاهش کارایی درون‌پوشانی شد. ازآنجایی‌که فسفولیپیدها، ساختمان اصلی لیپوزوم را تشکیل می‌دهند، هرچه میزان غلظت فسفولیپید بالاتر باشد، ترکیب فعال بیش‌تری درون‌پوشانی خواهد شد (Song *et al*., 2016).

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ترکیبات پودری و انکپسوله‌شده، اندازه و توزیع ذرات است که بر خصوصیات کپسول اثر می‌گذارد. در پژوهشی اندازه نانوکپسول‌های کیتوزان را به‌طور متوسط ۱۵۳ تا ۵۰۰ نانومتر اعلام کردند. به‌نظر می‌رسد تفاوت در روش خشک‌کردن کپسول‌ها بر اندازه کپسول مؤثر است. آن‌ها از آون برای خشک‌کردن استفاده نمودند درحالی‌که در این پژوهش از خشک‌کن انجمادی استفاده شد (Xing *et al*., 2015).

پتانسیل زتا یکی از ویژگی‌های فیزیکی مهم است که عامل مهمی در تعیین پایداری سیستم‌های کلوئیدی محسوب می‌شود و بهترین شاخص برای تعیین وضعیت الکتریکی سطحی دیسپرسیون‌ها می‌باشد. این عامل نشان‌دهنده میزان تجمع بار در لایه غیرمتحرک و شدت جذب یون‌های مخالف به سطح ذره و در نتیجه میزان پایداری الکترواستاتیک است. پتانسیل زتا به‌صورت مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست و با استفاده از تحرک الکتروفورتیک یا تحرک الکتروفورتیک پویا تعیین می‌شود (قره‌نقده و همکاران، ۱۳۹۶).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

منابع گیاهی به‌دلیل عوارض جانبی کم‌تر و در بعضی موارد اثرات بهتر و سریع‌تر توجه بیش‌تری را جلب می‌کنند. در این رابطه استفاده از گیاهان بومی ایران با خواص ضدمیکروبی و کپسوله‌کردن آن با نانوذرات کیتوزان می‌تواند روش نوینی در درمان عفونت‌های ناشی از قارچ‌ها باشد. بنابراین با پوشش‌دهی دانه‌های انار توسط کیتوزان و انتخاب غلظت مناسب اسانس مرزه بختیاری (۰/۳–۱ و ۰/۳–۲)، می‌توان زمان ماندگاری، بازارپسندی و کیفیت تغذیه‌ای دانه انار را به میزان مناسب و قابل‌توجهی حفظ کرد.

۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه شهرکرد جهت فراهم‌آوردن شرایط لازم برای اجرای پژوهش حاضر، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

احمدی، کریم؛ عبادزاده، حمیدرضا؛ حاتمی، فرشاد؛ حسین پور، ربابه و عبدشاه، هلدا (۱۳۹۹). *آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۹: محصولات باغی*. تهران: مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی.

حسن‌زاده اوچتپه، حامد؛ علیزاده خالد آباد، محمد و رضازاده باری، محمود (۱۳۹۷). نانو درون‌پوشانی عصاره سیر به روش امولسیون آب در روغن: ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ضدمیکروبی. *علوم و صنایع غذایی*، *۱۵* (۸۴)، ۳۳۷-۳۴۷.

خوش اخلاق، خدیجه؛ محبی، محبت و کوچکی، آرش (۱۳۹۹). بررسی ویژگی‌های ساختاری و رهایش د-لیمونن نانوپوشانی شده با صمغ دانه قدومه شیرازی به روش الکترواسپری. *نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی*، ۹(۱)، ۱۱- ۲۶.

راد، مهیار؛ غفوری، حامد و غلامی، زهره (۱۳۹۹). تأثیر پوشش خوراکی حاوی کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر ماندگاری قارچ دکمه‌ای. *نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران*، *۱۶* (۵)، ۵۸۱-۶۰۵.

عزیزی، فاطمه؛ عرفانی مقدم، جواد؛ خادمی، اورنگ و نورالهی، خشنود (۱۳۹۶). تأثیر آسکوربیک‌اسید و اسید اگزالیک بر ماندگاری آریل‌های انار. *علوم و صنایع غذایی*، *۱۴* (۷۱)، ۱۵-۲۴.

قره‌نقده، ساسان؛ فرقانی، سمیرا؛ قره‌نقده، سامان و صوتی خیابانی، محمود (۱۳۹۶). بررسی خاصیت ضدمیکروبی عصاره متانولی، اسانس و نانولیپوزوم حاوی اسانس نعناع فلفلی. *علوم و صنایع غذایی*، *۱۴* (۶۸)، ۹۳-۱۰۲.

References

Ahmad, M., Benjakul, S., Prodpran, T., & Agustini, T. W. (2012). Physico-mechanical and antimicrobial properties of gelatin film from the skin of unicorn leatherjacket incorporated with essential oils. *Food Hydrocolloids, 28*(1), 189 199. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.003.

Ahmadi, K., Ebadzadeh, H., Hatami, F., Hosseinpor, R., & Abdshah, H. (2020). *Agricultural Statistics of 1398: Horticultural Products*. Tehran: Information and Communication Technology Center of the Ministry of Agricultural Jihad. (In Persian).

Ajun, W., Yan, S., Li, G., & Huili, L. (2009). Preparation of aspirin and probucol in combination loaded chitosan nanoparticles and in vitro release study. *Carbohydrate Polymers, 75*(4), 566-74. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.08.019.

Anis, A., Pal, K., & Al-Zahrani, S. M. (2021). Essential oil-containing polysaccharide-based edible films and coatings for food security applications. *Polymers, 13*(4), 575. https://doi.org/10.3390/polym13040575.

Asgary, S., Keshvari, M., Sahebkar, A., & Sarrafzadegan, N. (2017). Pomegranate consumption and blood pressure: a review. *Current Pharmaceutical Design, 23*(7), 1042-1050. https://doi.org/10.2174/1381612822666161010103339.

Azizi, F., Erfani Moghadam, J., Khademi, O., & Nourollahi, Kh. (2017). Effects of oxalic acid and ascorbic acid on shelf life of pomegranate arils. *Journal of Food Science and Technology, 71*(71), 15-24. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=537543. (In Persian).

Candir, E., Ozdemir, A. E., & Aksoy, M. C. (2018). Effects of chitosan coating and modified atmosphere packaging on postharvest quality and bioactive compounds of pomegranate fruit cv. 'Hicaznar'. *Scientia Horticulturae, 235*, 235–243. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.017.

Feyzioglu, G. C., & Tornuk, F. (2016). Development of chitosan nanoparticles loaded with summer savory (*Satureja hortensis* L.) essential oil for antimicrobial and antioxidant delivery applications. *LWT-Food Science and Technology, 70*, 104–110. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.037.

García-Pastor, M. E., Serrano, M., Guillén, F., Zapata, P. J., & Valero, D. (2020). Preharvest or a combination of preharvest and postharvest treatments with methyl jasmonate reduced chilling injury, by maintaining higher unsaturated fatty acids, and increased aril colour and phenolics content in pomegranate. *Postharvest Biology and Technology, 167*, 111226. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111226.

Gharenaghadeh, S., Forghani, S., Gharehnaghadeh, S., & Sowti, M. (2017). Evaluation of antimicrobial properties of methanolic extract, essential oil and nanolipozom of *Mentha piperita*. *Journal of Food Science and Technology, 14* (68), 93-102. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=537506. (In Persian).

Hamedi, H., Kargozari, M., Shotorbani, P., Babolani Moghadam, N., & Fahimdanesh, M. (2017). A novel bioactive edible coating based on sodium alginate and galbanum gum incorporated with essential oil of *Ziziphora persica*: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food model. *Food Hydrocolloids, 72*, 35-46. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.014.

Hassanzadeh, H., Alizadeh, M., & Rezazad, B. M. (2019). Nano-encapsulation of garlic extract by water-in-oil emulsion: physicochemical and antimicrobial characteristics. *Journal of Food Science and Technology, 15*(84), 337-347. http://fsct.modares.ac.ir/article-7-16487-en.html. (In Persian).

Hosseini, S. F., Zandi, M., Rezaei, M., & Farahmandghavi, F. (2013). Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: preparation, characterization and in vitro release study. *Carbohydrate Polymers, 95*(1), 50-56. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.02.031.

Hussein, Z., Fawole, O. A., & Obia Opara, U. (2020). Effects of bruising and storage duration on physiological response and quality attributes of pomegranate fruit. *Scientia Horticulturae, 267*, 109306. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109306.

Kamali, A., Sharayei, P., Niazmand, R., & Eynafshar, S. (2012). Effect of different concentration of maltodextrin and polyvinylpyrrolidone on stability of saffron's effective compounds microencapsulated by spray drying. *Journal of Research an Innovation in Food Science and Technology, 1*(4), 241-254. https://doi.org/10.22101/JRIFST.2013.03.15.142.

Karimirad, R., Behnamian, M., & Dezhsetan, S. (2019). Application of chitosan nanoparticles containing *Cuminum cyminum* oil as a delivery system for shelf life extension of *Agaricus bisporus*. *LWT-Food Science and Technology, 106*, 218-228, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.062.

Khatibi, S. A., Misaghi, A., Moosavy, M. H., Akhondzadeh Basti, A., Koohi, M. K., Khosravi, P., & Haghirosadat F. (2016). Encapsulation of *Zataria Multiflora* Bioss. Essential oil into nanoliposomes and in vitro antibacterial activity against Escherishia coli O157:H7. *Journal of Food Processing and Preservation*, *41*, 1-10, https://doi.org/10.1111/jfpp.12955.

Khoshakhlagh, Kh., Mohebbi, M., & Koocheki, A. (2020). The evaluation of structural properties and release behavior of d-limonene nanoencapsulated with *Alyssum homolocarpum* seed gum applying electrospraying. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology, 9*(1), 11-26. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=749375. (In Persian).

Lopez-Reyes, J. G., Spadaro, D., Gullinoa, M., & Garibaldia, A. (2010). Efficacy of plant essential oils on postharvest control of rot caused by fungi on four cultivars of apples in vivo. *Flavour and Fragrance Journal, 25*(3), 171-177. https://doi.org/10.1002/ffj.1989.

Martinez-Abad, A., Sanchez, G., Fuster, V., Lagaron, J. M., & Ocio, M. J. (2013). Antimicrobila performance of solvent cast polycaprolactone (PCL) films containing essential oils. *Food Control, 34*(1), 214-220. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.04.025.

Meighani, H., Ghasemnezhad, M., & Bakhshi, D. (2015). Effect of different coatings on postharvest quality and bioactive compounds of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruits. *Journal of Food Science and Technology, 52*(7), 4507-4514. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1484-6.

Mohammadi, A., Hashemi, M., & Hosseini, S. M. (2015). Nanoencapsulation of *Zataria multiflora* essential oil preparation and characterization with enhanced antifungal activity for controlling Botrytis cinerea, the causal agent of gray mould disease. *Innovative Food Science and Emerging Technologies, 28*, 73-80. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.12.011.

Mounyr, B., Moulay, S., & SaadKoraich, I. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis, 6*(2), 71-79. https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005.

Munoz, Z., & Moret, A. (2010). Sensitivity of *Botrytis cinerea* to chitosan and acibenzolar-S-methyl. *Pest Management Science, 66*(9), 974-979. https://doi.org/10.1002/ps.1969.

O'Grady, L., Sigge, G., Caleb, O. J., & Opara, U. L. (2014). Bioactive compounds and quality attributes of pomegranate arils (*Punica granatum* L.) processed after long-term storage. *Food Packaging and Shelf Life, 2*(1), 30-37. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.06.001.

Ortan, A., Campeanu, G., Dinu Pirv, C., & Popesco L. (2009). Studies concerning the entrapment of *Anethum graveolens* essential oil in liposomes. *Romanian Biotechnological Letters*, *14*, 4411-4417.

Pareek, S., Valero, D., & Serrano, M. (2015). Postharvest biology and technology of pomegranate. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 95*(12), 2360-2379. https://doi.org/10.1002/jsfa.7069.

Perrico, M., Arace, E., Corbe, M. R., Sinigagila, M., & Bevilacqua, A. (2015). Bioactivity of essential oils. A review on their interaction with food components. *Frontiers in Microbiology, 9*(6), 76. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00076.

Qu, T., Li, B., Huang, X., Li, X., Ding, Y., Chen, J., & Tang, X. (2020). Effect of peppermint oil on the storage quality of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Food and Bioprocess Technology, 13*, 404-418. https://doi.org/10.1007/s11947-019-02385-w.

Rad, M., Ghafori, H., & Gholami, Z. (2021). Effect of edible coating containing carboxymethyl cellulose and sodium metabisulfite on the shelf life of the button mushroom. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 5*(65), 581-605. https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.V16I5.83614. (In Persian).

Radünz, M., Luiza Martins da Trindade, M., Mota Camargo, T., Luiz Radünz, A., Dellinghausen Borges, C., Avila Gandra, E., & Helbig, E. (2018). Antimicrobial and antioxidant activity of unencapsulated and encapsulated clove (*Syzygium aromaticum* L.) essential oil. *Food Chemistry, 276*, 180-186. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.173.

Razavizadeh, B. B. M., Khan Mohammadi, F., & Azizi, S. N. (2014). Comparative study on properties of rice bran oil microcapsules prepared by spray drying and freeze drying. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology, 3*(2), 97-114. https://doi.org/10.22101/JRIFST.2014.08.23.321.

Santos, M., Martins, S., Veríssimo, C., Nunes, M., Lima, A., Ferreira, R., Pedroso, L., Sousa, I., & Ferreira, M. (2017). Essential oils as antibacterial agents against food-borne pathogens: Are they really as useful as they are claimed to be? *Journal of Food Science and Technology, 54*(13), 4344-4352. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2905-0.

Sebaaly, C., Jraij, A., Fessi, H., Charcosset, C., & Greige-Gerges, H. (2015). Preparation and characterization of clove essential oil-loaded liposomes. *Food Chemistry, 178*, 52-62. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.067.

Sepahvand, M., Zahedi, B., & Ehteshamnia, A. (2017). Evaluation of pomegranate (*Punica granatum* L.) genotypes in Lorestan province by morphological and biochemical characteristics. *Iranian Journal of Horticultural Science, 48*(3), 447-458.

Serrano-León, J. S., Bergamaschi, K. B., Yoshida, C. M. P., Saldaña, E., Selani, M. M., Rios-Mera, J. D., & Contreras- Castillo, C. J. (2018). Chitosan active films containing 720 agro-industrial residue extracts for shelf life extension of chicken restructured 721 product. *Food Research International, 108*, 93-100. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.031.

Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, H., Mohammadifar, M. A., Mohammadi, A., Ghasemlou, M., Ojagh, S. M., & Khaksar, R. (2013). Characterization of antioxidant-antimicrobial κ-carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules, 52*, 116-124. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.08.026.

Song, H., Yuan, W., Jin, P., Wang, W., Wang, X., Yang, L., & Zhang, Y. (2016). Effects of chitosan/nano-silica on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology, 119*, 41-48. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.015.

Sotelo-Boyás, M. E., Correa-Pacheco, Z. N., Bautista-Baños, S., & Corona-Rangel, M. L. (2017). Physicochemical characterization of chitosan nanoparticles and nanocapsules incorporated with lime essential oil and their antibacterial activity against food-borne pathogens. *LWT-Food Science and Technology, 77*, 15-20. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.022.

Taheri, M., Heidari, M., & Zarei, M. (2019). Effects of aloe vera gel and storage duration on some biochemical indices in minimally processed pomegranate fresh arils. *Plant Productions, 42*(4), 495-508. https://doi.org/10.22055/ppd.2019.25498.1591.

Varasteh, F., Arzani, K., Barzegar, M., & Zamani, Z. (2017). Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit storability improvement using pre-storage chitosan coating technique. *Journal of Agricultural Science and Technology, 19*(2), 389-400.

Wang, H., Chen, Y., Sun, J., Li, Y., Lin, Y., Lin, M., Huang, Y., Ritenour, M. A., & Lin, H. (2018). The changes in metabolisms of membrane lipids and phenolics induced by *Phomopsis longanae* Chi infection in association with pericarp browning and disease occurrence of postharvest longan fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66*(48), 12794–12804. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b04616.

Wang, L., Wu, H., Qin, G., & Meng, X. (2014). Chitosan disrupts *Penicillium expansum* and controls postharvest blue mold of jujube fruit. *Food Control, 41*(1), 56-62. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.12.028.

Xing, Y., Lin, H., Cao, D., Xu, Q., Han, W., Wang, R., & Li, X. (2015). Effect of chitosan coating with cinnamon oil on the quality and physiological attributes of china jujube fruits. *BioMed Research International, 2015*(2), 1-10. https://doi.org/10.1155/2015/835151.

Yazgan, H. (2020). Investigation of antimicrobial properties of sage essential oil and its nanoemulsion as antimicrobial agent. *LWT-Food Science and Technology*, *130*, 109669, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109669.

Zanetti, M., Carniel, T. K., DalcaCnton, F., Dos Anjos, R. S., Gracher Riella, H., De Araújo, P. H. H., De Oliveira, D., & Antônio Fiori, M. (2018). Use of encapsulated natural compounds as antimicrobial additives in food packaging: A brief review. *Trends in Food Science and Technology, 81*, 51-60, https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.003.