

(Original Research Paper)

Mint Essential Oil: Extraction, Evaluation of Properties, Simulating and Optimizing its Sstorage Cconditions

Mohammadreza Miralvar¹, Paya Hasan Ali Zadeh¹, Sarvin Mohammadi Aghdam², Omid Ahmadi^{3*}

1- M.Sc Graduated of Polymer Engineering Faculty, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Chemistry, Payam Noor University, Tehran, Iran.

3-Ph.D Graduated of Food Science and Technology, Faculty of Chemical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran.

Received:12/01/2023

Accepted:20/04/2023

Abstract

Nowadays the discussion of research in the field of medicinal and food plants is important, and expanding the range of new drugs from natural sources as a suitable solution with strategic and economic value has become particularly important. One of these suitable and practical plants is mint (*Mentha spicata L*) and has many medicinal properties. 2.4 mL of mint essential oil was obtained by extracting the essential oil with a Clevenger device. In order to optimize the storage conditions, the extracted essential oil was stored under four different storage conditions: (1) open door of the chamber at ambient temperature (2) Closed compartment door at ambient temperature (3) Open compartment door at refrigerator temperature (4) Closed compartment door was placed at refrigerator temperature. COMSOL Multiphysics software was used with the aim of following the simulation of different storage conditions of the extracted essential oil. By simulating the mass transfer process under different storage conditions, the initial time of essential oil evaporation for 4 conditions in the storage conditions (1), (2), (3) and (4) were 30, 105, respectively. 270 and 480 min were obtained. In other words, after the calculated times, the volume reduction will occur in the extracted essential oil. The antioxidant property of mint essential oil was measured by the DPPH method and the value was 56%. After 144 hours of storage time, the antioxidant property of the samples with different conditions (1) to (4) reached the values of 7%, 18%, 13% and 47%, respectively. The results of the antibacterial properties of min essential oil against two different gram-negative (*Escherichia coli*) and gram-positive (*Staphylococcus aureus*) bacterial species were evaluated and the antibacterial properties of the essential oil against gram-positive bacteria (22 mm) were higher than gram-negative bacteria (17 mm). The evaluation of the antibacterial property of the essential oil under 4 different conditions with 144 hours passed, the best maintenance condition was condition (4) in which against gram positive bacteria, a reduction of 13% equivalent to 19 mm and against gram negative bacteria with a reduction of 11% property, halo diameter Formed 15 mm was obtained.

Keywords: Antibacterial, Antioxidant, Mint Essential Oil, Optimization, Simulation,

*Corresponding Author: o_ahmadi@sut.ac.ir

(مقاله پژوهشی)

اسانس روغنی نعناع: استخراج، بررسی خواص، شبیه سازی و بهینه سازی شرایط نگهداری آن

محمد رضا میر الوار^۱، پایا حسنعلی زاده^۱، سروین محمدی اقدم^۲، امید احمدی^{۳*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران.

۲- استادیار، گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳- دانش آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۲

چکیده

امروزه بحث پژوهش در زمینه گیاهان دارویی و غذایی حائز اهمیت بوده و گسترش دامنه داروهای جدید از منابع طبیعی به عنوان راهکاری مناسب و دارای ارزش راهبردی و اقتصادی اهمیت خاصی پیدا کرده است. یکی از این گیاهان مناسب و کاربردی نعناع (*Mentha spicata L*) بوده و خواص فراوان دارویی دارد. با انجام اسانس گیری با دستگاه کلونجر مقدار ۲/۴ mL اسانس روغنی نعناع به دست آمد، جهت بهینه سازی شرایط نگهداری، اسانس استخراج شده تحت چهار شرایط مختلف نگهداری: (۱) درب باز محفظه در دمای محیط (۲) درب بسته محفظه در دمای محیط (۳) درب باز محفظه در دمای یخچال (۴) درب بسته محفظه در دمای یخچال قرار گرفت. از نرم افزار COMSOL Multiphysics با هدف دنبال کردن شبیه سازی شرایط مختلف نگهداری اسانس استخراج شده استفاده گردید. با شبیه سازی فرآیند انتقال جرم تحت شرایط مختلف نگهداری، زمان اولیه تبخیر اسانس برای ۴ حالت در شرایط نگهداری (۱)، (۲)، (۳) و (۴) به ترتیب زمان های ۳۰، ۱۰۵، ۲۷۰ و ۴۸۰ دقیقه به دست آمد. به عبارتی پس از گذشت زمان های محاسبه شده کاهش حجم در اسانس استخراج شده اتفاق خواهد افتاد. فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس نعناع با روش DPPH اندازه گیری شده و مقدار ۵۶٪ بدست آمد. پس از ۱۴۴ ساعت زمان نگهداری فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه ها با شرایط مختلف (۱) الی (۴) به ترتیب به مقادیر ۷٪، ۱۸٪، ۱۳٪ و ۴۷٪ رسید. نتایج خاصیت ضدباکتریایی اسانس نعناع در مقابل دو گونه مختلف باکتریایی گرم منفی (*اشرشیا کولی*) و گرم مثبت (*استافیلوکوکوس اورئوس*) ارزیابی شده و خاصیت ضد باکتریایی اسانس در مقابل باکتری گرم مثبت (۲۲ mm) بیشتر از باکتری گرم منفی (۱۷ mm) بود. ارزیابی خاصیت ضد باکتریایی اسانس نیز تحت ۴ شرایط مختلف با گذشت ۱۴۴ ساعت، بهترین شرایط نگهداری شرایط (۴) بوده که در مقابل باکتری گرم مثبت، کاهش ۱۳٪ معادل ۱۹ mm و در مقابل باکتری گرم منفی با کاهش ۱۱٪ خاصیت، قطر هاله تشکیل شده ۱۵ mm به دست آمد.

واژه های کلیدی: آنتی اکسیدانی، اسانس روغنی نعناع، بهینه سازی، شبیه سازی، ضد باکتریایی.

۱- مقدمه

بیماری‌های مختلف و متنوع، بار مالی فراوانی را به جوامع بشری تحمیل می‌نمایند. آنتی بیوتیک‌های سنتز شده در دهه‌های گذشته هر چند توانسته‌اند نقش مهمی را در درمان این بیماری‌ها ایجاد نمایند، اما مشکلاتی که در رابطه با بروز مقاومت‌های میکروبی آنتی‌بیوتیکی‌ها به وجود آمده باعث گردیده تا به مصرف هر چه بیشتر داروی‌های گیاهی گرایش پیدا شود (۱۸). امروزه بحث تحقیق و پژوهش در زمینه گیاهان مختلف که کاربردهای دارویی و غذایی بالقوه‌ای دارند بسیار حائز اهمیت بوده و گسترش دامنه داروهای جدید از منابع طبیعی به‌عنوان راهکاری مناسب و دارای ارزش راهبردی و اقتصادی در سطح جهان اهمیت خاصی پیدا کرده است. به طوری که در حال حاضر این مواد و مشتقات آن‌ها به‌عنوان افزودنی‌های طبیعی غذایی به مصرف رسیده و درصد قابل توجهی از داروهای گیاهی برگرفته از منابع طبیعی در مراکز درمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱). در صنایع غذایی نیز به علت گرایش منفی مردم در مصرف غذاهایی که در آن‌ها نگه‌دارنده‌های شیمیایی استفاده شده است، باعث گردیده که از منابع گیاهی علاوه بر استفاده به‌عنوان طعم‌دهنده به‌عنوان عوامل ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی نیز استفاده نمایند (۱۳). یکی از این گیاهان مناسب و کاربردی نعناع (با نام علمی *Mentha spicata L*) بوده که طبع گرم و خشک داشته و خواص فراوان دارویی دارد و مصرف آن به اشکال مختلف امکان‌پذیر است. گونه‌های نعناع متعلق به خانواده نعنائیان هستند و به‌طور گسترده در اروپا، آسیا، آفریقا، استرالیا و آمریکای شمالی پراکنده هستند (۱۴). نعنا یکی از گیاهان خوراکی خوش عطر و طعمی است که به‌صورت پرورشی و خودرو به‌راحتی رشد می‌کند. بیشتر گونه‌های نعناع چند ساله هستند، و به‌طور گسترده به‌عنوان محصولات صنعتی برای تولید اسانس کشت می‌شوند (۱۲). استفاده از مشتقات گیاهان مختلف شامل اسانس‌ها، عرقیات و عصاره‌های گیاهی که محصولات فرآوری شده گیاهان دارویی می‌باشند، می‌توانند

به‌عنوان جایگزین مناسبی برای مواد نگه‌دارنده سنتزی بوده و در صنایع غذایی کاربردهای مختلفی را به‌خوبی از خود نشان دهد، همچنین با توجه به خاصیت بالای ضدباکتریایی این مواد، می‌توان در بسیاری از کاربردهای دارویی به‌عنوان جایگزین با داروهای شیمیایی مورد استفاده قرار بگیرند، این در حالی است که عوارض جانبی این ترکیبات از داروهای شیمیایی کمتر است (۱۷). روغن‌های اسانسی، عموماً مایع بوده و شامل مخلوطی از ترکیبات متفاوت می‌باشند. کمیت و کیفیت اسانس‌ها که توسط گونه‌های مختلف گیاهان تولید می‌شوند، رابطه مستقیمی با بیوستز، متابولیسم و فعالیت‌های بیولوژیک گیاه دارد که آن نیز تابع شرایط اقلیمی محیط-زیست گیاه می‌باشد (۱۱). اسانس نعناع یکی از پراستفاده‌ترین اسانس‌ها بوده که به‌واسطه بوی خنک طرفداران بسیاری دارد و به روش تقطیر از برگ و سرشاخه‌های گلدار این گیاه تهیه می‌شود. اسانس نعناع حدوداً حاوی ۴۰٪ متول است که ماده مؤثره و منشأ رایحه و اثر خنک‌کنندگی نعناع می‌باشد. اسانس این ماده یکی از موادی است که دارای خاصیت بالای آنتی اکسیدانی نسبت به سایر گیاهان دارویی موجود می‌باشند. اسانس نعناع به‌طور گسترده برای مصارف مختلفی استفاده می‌شود. این روغن امروزه به‌طور گسترده‌ای در آماده‌سازی خوراکی‌ها، عطرها و برای درمان انواع مختلفی از مشکلات استفاده می‌شود. مهم‌ترین خاصیت نعنا تسکین ناراحتی‌های گوارشی مانند معده درد است (۷ و ۲۳). خاصیت آب‌گریزی اسانس‌ها و برخی از خصوصیات ویژه آن‌ها از جمله حلالیت پایین در آب، فرار بودن و بسیار غلیظ بودن اسانس‌ها، باعث شده استفاده از این ترکیبات طبیعی در مواد غذایی به‌خصوص مواد آشامیدنی محدودیت داشته باشد. همچنین علی‌رغم موارد ذکر شده، اکسیداسیون سریع و بی‌ثباتی شیمیایی اسانس‌ها در حضور نور، رطوبت و دمای بالا از معایب آن به‌شمار رفته که کاربرد و استفاده از آن‌ها را محدود ساخته است (۱۹). برای غلبه بر این مشکل و استفاده بهینه از اسانس‌ها در مواد غذایی و دارویی باید به دنبال راهکارهایی مناسب بود

محلی مهاباد خریداری شد. از آب مقطر (شرکت بهروان شیمی)، به عنوان حلال بخش اسانس گیری استفاده گردید. جهت بررسی خواص باکتریایی از دو باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* (PTCC 1112) و *اشرشیا کولی* (PTCC 1270) که از بانک میکروبی ایران خریداری شد استفاده گردید و جهت بررسی خاصیت آنتی اکسیدانی از ماده ۲ و ۲ دی فنیل-۲ پیکریل هیدرازیل (DPPH) استفاده گردید.

۲-۲- استخراج اسانس روغنی نعناع

با توجه به مطالعات انجام گرفته پیشین، استخراج اسانس روغنی نعناع با استفاده از دستگاه کلونجر طبق روش احمدی و جعفری زاده مالگیری به صورت زیر انجام گرفت (۲). گیاه نعناع خریداری شده جهت افزایش نرخ انتقال جرم و استخراج هرچه بیشتر اسانس با استفاده از خردکن برقی مدل Best ساخت کشور ایران ریزتر گردیده و به پودر تبدیل گردید. مقدار ۱۰۰ گرم از بدست آمده به همراه ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر هر کدام به طور مجزا به بخش‌های مختلف دستگاه اسانس گیر شیشه‌ای کلونجر انتقال یافته و به مدت ۲/۵ ساعت اسانس گیری با روش تقطیر با آب و بخار آب در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت و مقدار ۲/۴ میلی لیتر اسانس روغنی نعناع بدست آمد.

۲-۳- آنالیز و بررسی خواص

پس از استخراج اسانس روغنی نعناع با روش بیان شده، آنالیز طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) با جهت مشخص نمودن گروه‌های عاملی اسانس استخراج شده با استفاده از دستگاه UNICAM 800 مدل Shimadzu به وسیله ماده بی اثر KBr در محدوده عدد موجی 400 cm^{-1} الی 4000 cm^{-1} انجام گرفت. جهت بررسی و بهینه‌سازی شرایط نگهداری اسانس استخراج شده نعناع، ماده به دست آمده تحت چهار شرایط مختلف نگهداری به صورت زیر قرار گرفت.

که خواص منحصر به فرد این مواد علاوه بر اینکه دستخوش تغییرات نامطلوب نگردد، بلکه تقویت نیز گردد. عوامل متعدد تاثیرگذار در نگهداری اسانس‌ها بایستی در شرایط مناسب کنترل گردیده تا در نهایت اسانس استخراج شده خواص ذاتی خود را حفظ نماید (۱۶ و ۲۰). یکی از راهکارهای پیشنهادی، علاوه بر انجام آزمایش‌های عملیاتی، انجام شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزارها می‌باشد. انجام این کار توانایی تشخیص شرایط خروجی یک فرآیند را دارد. همچنین با استفاده از این تکنیک‌ها نه تنها در جهت رسیدن به اهداف علمی، بلکه برای انجام امور روزمره بشر نیز می‌توان مورد استفاده قرار بگیرند. با انجام شبیه‌سازی می‌توان کنترل حرکات و واکنش‌های یک سیستم را به سادگی در اختیار گرفت. کنترل این حرکات معمولاً متحمل صرف هزینه و وقت زیاد می‌باشد اما با انجام شبیه‌سازی می‌توان با هزینه کم این بررسی‌ها را انجام داده و به بهترین انتخاب رسید (۱۰، ۱۵، ۱۸ و ۲۲). تحقیق حاضر با اهداف مختلف که شامل موارد زیر می‌باشد انجام شد:

- ۱- استخراج اسانس روغنی نعناع با روش بهینه و مناسب.
- ۲- شبیه‌سازی شرایط نگهداری اسانس استخراج شده تحت شرایط متنوع با استفاده از نرم‌افزار COMSOL Multiphysics نسخه 5.6 ساخت کشور آمریکا.
- ۳- بررسی خواص آنتی اکسیدانی و ضد باکتریایی اسانس نعناع استخراج شده تحت شرایط نگهداری متنوع، در انتها نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی انجام شده و آزمایشات عملی بررسی شده با یکدیگر مقایسه گردیده و نتیجه گیری نهایی حاصل شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

در تحقیق حاضر از گیاه نعناع استفاده شد که از بازارهای

در جدول ۱ مشخصات ابعادی ظرف مک کارتی و در شکل ۱ (الف و ب) نمونه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

جدول ۱- ابعاد و اندازه‌های محفظه حاوی اسانس نعناع (سانتیمتر)

بعدها	اندازه
ارتفاع	۵
شعاع	۱/۲۵
ضخامت	۰/۲۵



شکل ۱- نمونه‌های حاوی اسانس نعناع استخراج شده
الف) نمونه‌های نگهداری شده در دمای یخچال
ب) نمونه‌های نگهداری شده در دمای محیط

معادلات حاکم بر فیزیک مسئله، مدل ریاضی و روش

حل: یکی از اصول ابتدایی و اصلی جهت شبیه سازی پدیده‌های مختلف، معادلات حاکم بر فیزیک مسئله می‌باشد که برای حل مسئله حاضر، مدل‌سازی و به دست آوردن میزان انتقال جرم با مکانیسم نفوذ بررسی شد. در سیستم طراحی شده مورد مطالعه بر فیزیک مسئله از معادله کلی انتقال جرم استفاده شده که هدف کلی به دست آوردن پیش‌بینی مقدار غلظت اسانس پخش شده در محیط در زمان مشخصی است، معادلات حاکم بر انتقال جرم در این بخش بیان شده است. در معادله ۱ ساختار کلی انتقال جرم ناپایا (متغیر با زمان) که شامل بخش‌های گوناگون است، گزارش شده است:

(۱)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \cdot \nabla C = D \nabla^2 C + R$$

که در معادله حاضر، R مربوط به ترم واکنش، D ضریب نفوذ، t زمان انجام فرآیند، C غلظت و u سرعت سیال است.

دمای یخچال (۴ °C) - درب محفظه باز

دمای یخچال (۴ °C) - درب محفظه بسته

دمای محیط (۲۵ °C) - درب محفظه باز

دمای محیط (۲۵ °C) - درب محفظه بسته

به منظور بررسی خواص اسانس استخراج شده و اثر شرایط نگهداری بر ویژگی‌های آن، مقدار اسانس استخراج شده، خواص آنتی‌اکسیدانی با روش DPPH و همچنین خاصیت ضد باکتریایی ماده استخراج شده با روش انتشار چاهک با روش شرح داده شده در پژوهش احمدی و جعفری زاده مالمیری پس از مدت زمان مشخص بدست آمده از نتایج شبیه‌سازی انجام گرفت (۳ و ۴).

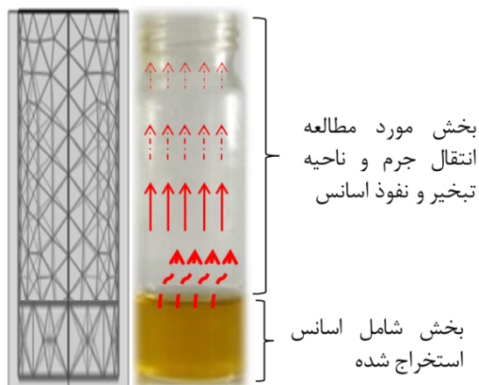
۴-۲- شبیه سازی

همان طور که در بخش مقدمه بیان شد، از نرم افزار COMSOL Multiphysics با هدف دنبال کردن شبیه‌سازی شرایط مختلف نگهداری اسانس استخراج شده (بیان شده در بخش قبل - آنالیز و بررسی خواص) بر پایه قوانین انتقال جرم و میزان انتشار آن در محیط استفاده گردید (۵).

تئوری مسئله: در پژوهش حاضر با توجه به ساکن بودن اسانس استخراج شده در محفظه نگهداری تحت شرایط متنوع دمایی، گرادیان غلظت از طریق مکانیسم نفوذ انتقال جرم صورت گرفته و هرچه میزان انتقال جرم بیشتر باشد، پدیده نامطلوبی بوده و اسانس استخراج شده خواص بیشتری از دست داده است. به عبارتی پس از انجام شبیه‌سازی و بدست آمدن نتایج، بایستی میزان انتقال جرم به کمترین میزان ممکن رسیده تا اسانس استخراج شده نعنای خود را حفظ نماید.

فیزیک و هندسه مسئله (مدل فیزیکی): حالت فیزیکی

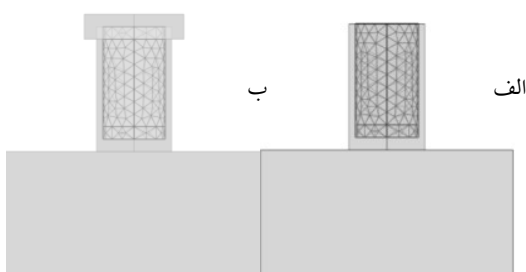
مسئله و شکل هندسی آن، یکی از بخش‌های مهم شبیه‌سازی بوده که در آن به صورت ۴ نمونه مجزا از لوله مک کارتی حاوی اسانس نعناع استخراج شده تحت شرایط مختلف دمای محیط و دمای یخچال با درب بسته و باز، استفاده گردید که



شکل ۲- شماتیک کلی فرآیند انتقال جرم (نفوذ) اسانس از محفظه نگهداری آن

گره بندی، روش حل شرایط مرزی و اولیه: نرم‌افزار

COMSOL جهت حل پدیده‌های فیزیکی از روش‌های عددی استفاده می‌کند که در مسئله حاضر از روش حل عددی المان محدود استفاده خواهد شد که تمامی بخش‌های مورد مطالعه به گره‌ها، بخش‌ها و المان‌های کوچک تبدیل شده و هر کدام به‌عنوان یک معادله در نظر گرفته می‌شوند. مطابق با شکل ۳ (الف و ب) که مربوط به فیزیک مسئله در دو حالت درب باز و درب بسته می‌باشد، فیزیک مسئله به گره‌های مختلف تقسیم شده است.



شکل ۳- گره بندی کل سامانه مورد مطالعه (الف) نمونه‌های نگهداری شده در ظرف درب بسته (ب) نمونه‌های نگهداری شده در ظرف درب باز

در حل هر کدام از معادلات دیفرانسیل نیاز به شرایط مرزی و اولیه می‌باشد که در تحقیق حاضر جهت حل مسئله بر اساس به معادله ۳ که به صورت معادله دیفرانسیل جزئی می‌باشد، نیاز به

اگر معادله ۱ به صورت گسترده بیان شود معادله کلی انتقال جرم، به معادله ۲ در سیستم مختصاتی استوانه‌ای به صورت زیر تبدیل خواهد گشت:

$$(2) \quad \frac{\partial C}{\partial t} + u \cdot \nabla C = D \left[\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 C}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right] + R$$

معادله ۲ حاوی انواع بخش‌های مختلف بوده که بسیاری از بخش‌های گزارش شده در سیستم مورد مطالعه وجود ندارند، به همین خاطر با فرضیات زیر معادله کلی انتقال جرم ناپایا ساده‌سازی شده و برخی از بخش‌ها حذف می‌شوند. فرضیات انجام‌شده در مدل‌سازی نفوذ و پخش اسانس به صورت زیر است:

۱- در طول فرآیند دما و فشار ثابت در نظر گرفته می‌شود.

۲- انتقال جرم در جهت Z بوده و از سایر جهت‌های مختصاتی صرف نظر شده است.

۳- هیچ گونه واکنشی در سیستم رخ نمی‌دهد.

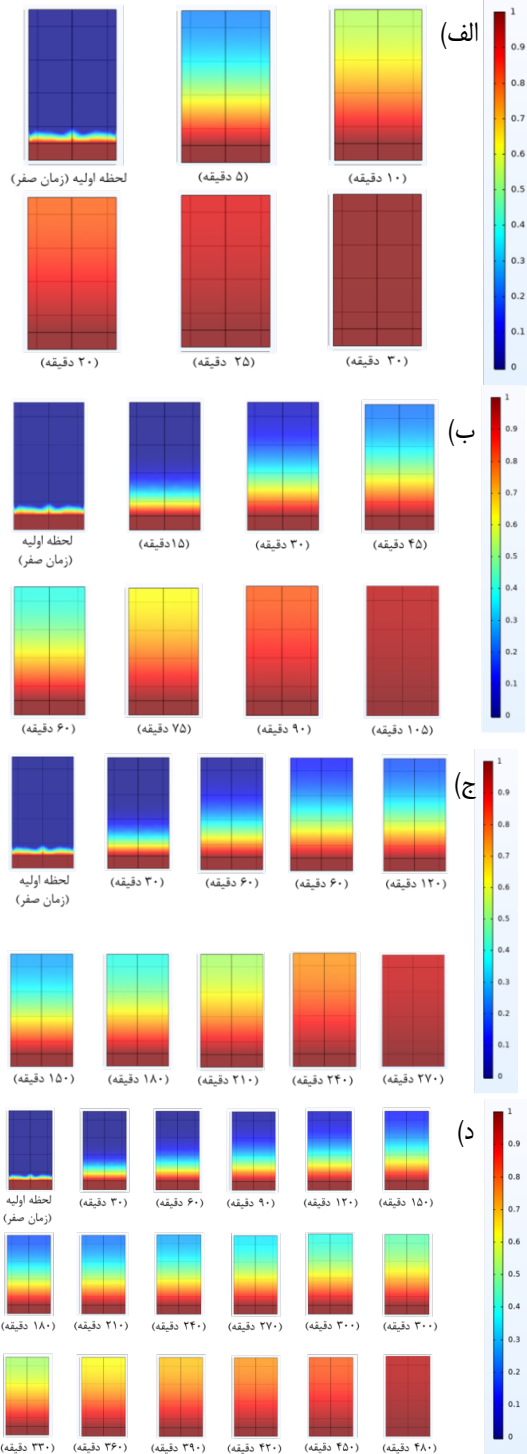
۴- انتقال جرم صرفاً از مکانیسم نفوذ اتفاق افتاده و با توجه به ساکن بودن سیال، انتقال جرم به صورت جابجایی وجود ندارد.

۵- ضریب نفوذ اسانس در محیط (هوای محیط و یخچال) ثابت در نظر گرفته شده است.

با فرضیات در نظر گرفته شده، معادله ۲، به صورت زیر تبدیل گشته که به قانون دوم فیک شناخته می‌شود:

$$(3) \quad \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

با ساده‌سازی‌های انجام‌شده، جهت شبیه‌سازی فرآیند با استفاده از قوانین انتقال جرم، با توجه به شماتیک نشان داده شده در شکل ۲ که برای هر چهار شرایط نگهداری حاکم است، مقاومت‌های موجود در بحث نفوذ مشخص شده و همچنین شرایط مرزی و اولیه باید مشخص شوند که در بخش بعدی بحث شده است.



شکل ۴- شماتیک گرافیکی تغییرات غلظت اسانس نعنای استخراج شده در لوله مک کارتی تحت شرایط مختلف نگهداری

۲ شرط مرزی و ۱ شرط اولیه می باشد که شرایط به صورت زیر در نظر گرفته شد:

شرط مرزی: میزان غلظت اسانس در انتهای محفظه (مبدأ از درب محفظه)، کامل (به صورت پارامتری ۱ در نظر گرفته شده است)، به عبارتی: $C(z=0,t)=1$

شرط مرزی: میزان غلظت اسانس در ابتدای محفظه، صفر، به عبارتی $C(z=l,t)=0$

شرط اولیه: میزان غلظت اسانس در ابتدای زمان مورد مطالعه، معادل غلظت اولیه (کامل)، به عبارتی

$$C(z,t=0)=1 (C_0)$$

حال برای حل معادله ۳ به صورت عددی در حالت وابسته به زمان (ناپایا) نیاز به یک ضریب نفوذ مولکولی می باشد که با توجه به فرضیات انجام گرفته به صورت ثابت و با مطالعه مراجع مقدار $41 \times 10^{-10} \left(\frac{m^2}{s}\right)$ در نظر گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- حل مسئله و تفسیر نتایج شبیه سازی

۳-۱-۱- تغییرات غلظت با زمان به صورت شماتیک گرافیکی

با توجه به فرضیات انجام گرفته و همچنین ساده سازی روابط ریاضی بیان شده و اعمال شرایط مرزی و اولیه، معادله (۳) به صورت عددی حل شد که هدف در آن بدست آوردن میزان انتقال جرم و مقدار غلظت اسانس روغنی نعنای استخراج شده در بازه های زمانی مختلف در ۴ حالت مجزا در ظرف نگهداری آن بود.

نتایج گرافیکی و لحظه ای برای ۴ حالت نگهداری اسانس روغنی در شکل ۴ (الف الی د) نشان داده شده است.

(الف) نمونه نگهداری شده در ظرف درب باز و دمای محیط
 (ب) نمونه نگهداری شده در ظرف درب باز و دمای یخچال
 (ج) نمونه نگهداری شده در ظرف درب بسته و دمای محیط
 (د) نمونه نگهداری شده در ظرف درب بسته و دمای یخچال

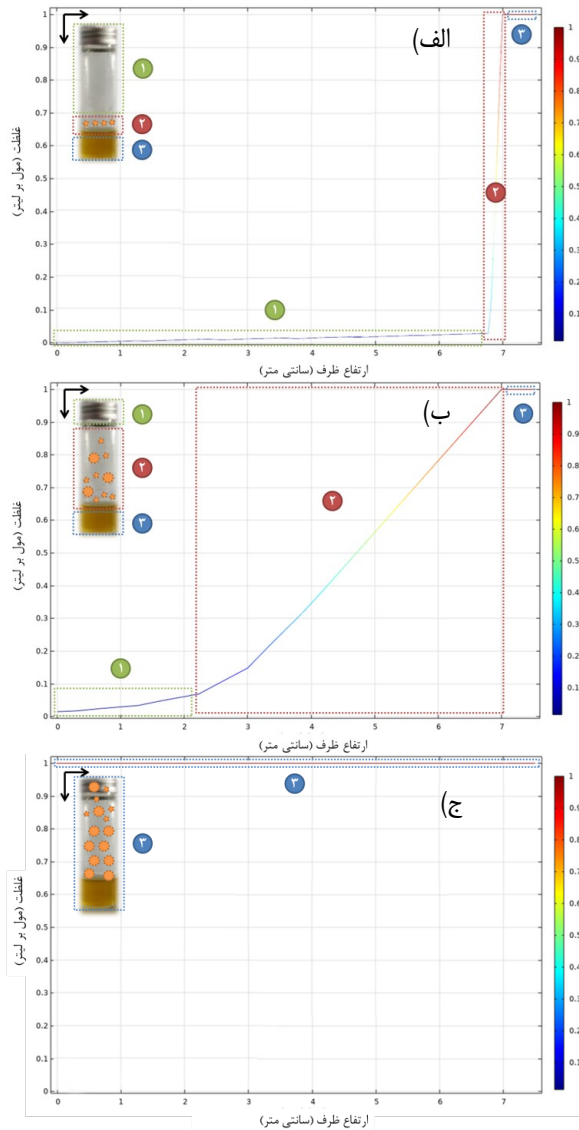
نهایت مدت زمان بیشتری نسبت به سایر شرایط نگهداری مورد نیاز می‌باشد تا کل محفظه حاوی اسانس گردیده و سپس فرآیند تبخیر (هرچند به‌طور جزئی) رخ دهد. این زمان برای این حالت ۴۸۰ دقیقه (معادل ۸ ساعت) می‌باشد. با توجه به این که در بخش حاضر بهترین نتایج و شرایط نگهداری مربوط به دمای یخچال و حالت درب بسته می‌باشد، در ادامه منحنی‌های تغییر غلظت در محفظه حاوی اسانس جهت بررسی بهتر و دقیق‌تر رسم شده است.

با توجه به شکل ۴ (الف الی د)، تغییرات غلظت از ۰ الی ۱ به ترتیب با رنگ‌های آبی و قرمز نشان داده شده و اعداد بین این مقادیر با رنگ‌های مختلف مشخص شده است. در شکل ۴الف که مربوط به محفظه درب باز در دمای محیط می‌باشد، پس از گذشت ۳۰ دقیقه، کل محفظه حاوی اسانس شده و پس از آن عملیات تبخیر رخ خواهد داد که این پدیده بسیار نامطلوب بوده و با این نرخ تبخیر، اسانس استخراج شده هم دچار تغییرات شیمیایی گردیده و سبب کاهش حجم بالایی از اسانس خواهد شد. محاسبات شبیه‌سازی برای حالتی که محفظه نگهداری اسانس دارای شرایط درب باز بوده و محفظه در دمای یخچال باشد در شکل ۴ب نشان داده شده است که این محاسبات نشان می‌دهد سرعت تبخیر و اسانس در دمای یخچال به مراتب پایین‌تر از حالتی است که در دمای محیط اتفاق خواهد افتاد و پس از ۱۰۵ دقیقه این پدیده شروع خواهد گردید. علت این پدیده مربوط به ارتباط مستقیم ضریب نفوذ و دما می‌باشد که در دماهای پایین‌تر، ضریب نفوذ کاهش پیدا خواهد کرد. شکل ۴ج، مربوط به حالتی می‌باشد که محفظه حاوی اسانس نعناع در دمای محیط بوده و درب آن بسته می‌باشد، در این حالت نسبت به حالت‌های قبل، با توجه به این که اسانس توانایی اینکه آزادانه وارد محیط گردد وجود نداشته و اجباراً در محفظه باقی خواهد ماند، مدت زمان نهایی لازم تا اینکه کل محفظه حاوی اسانس گردد مقدار ۲۷۰ دقیقه می‌باشد. در نهایت شکل ۴د حالتی را نشان می‌دهد که اسانس نعناع استخراج شده در محفظه درب بسته بوده و در دمای یخچال نگهداری می‌شود، این حالت بهترین شرایط نگهداری بوده که در آن با توجه به پایین بودن دما و همچنین در بالای محفظه، کمترین میزان تغییر غلظت اتفاق افتاده و در

۳-۱-۲- تغییرات غلظت با بعد مکان در حالت درب بسته و شرایط نگهداری دمای یخچال

اسانس روغنی نعناع همانند سایر اسانس‌های روغنی حساسیت‌های خاصی در نگهداری آن وجود داشته که پیدا کردن بهترین شرایط که زمان ماندگاری آن را افزایش دهد بسیار مناسب و کاربردی خواهد بود. با شبیه‌سازی انجام گرفته در حالت‌های مختلف، نتایج نشان داد که بهترین شرایط نگهداری دمای یخچال با حالت درب بسته محفظه می‌باشد که جهت بررسی دقیق‌تر تغییرات غلظت اسانس در محفظه نگهداری آن، محاسبات انجام گرفته و منحنی‌های حاوی تغییرات غلظت در شکل ۵ (الف الی ج) رسم گردید. در شکل ۵الف، این محاسبات در زمان اولیه استخراج اسانس انجام گرفته که در این حالت ۳ بخش با غلظت‌های مختلف در محفظه حاوی اسانس به وجود خواهد آمد، همان‌طور که در شکل نیز مشخص شده است، ناحیه ۱ مربوط به بخش خالی محفظه بوده که غلظت اسانس در این ناحیه بسیار کم بوده و نزدیک صفر می‌باشد، که در نمودار نیز این مقادیر به صورت خطی با شیب بسیار پایین نشان داده شده است، ناحیه ۲ که بسیار بخش بسیار باریکی را شامل می‌شود، مربوط به مرز بین اسانس روغنی و هوای بالای آن بوده و غلظت اسانس در این ناحیه کاملاً متغیر می‌باشد، به طوری که از مقدار ۱ شروع شده و تا نزدیک صفر ادامه پیدا خواهد کرد. ناحیه ۳ مربوط به اسانس روغنی استخراج شده می‌باشد که غلظت آن ۱ می‌باشد.

عملیاتی در ادامه پژوهش حاضر، نتایج کاهش مقدار اسانس در حالت‌های مختلف و شرایط نگهداری متفاوت گزارش شده است.



شکل ۵- منحنی تغییرات غلظت در مقابل ارتفاع ظرف نگهداری اسانس (لوله مک کارتی)، شرایط نگهداری: درب بسته تحت شرایط دمایی یخچال در زمان‌های مختلف (الف) زمان اولیه استخراج اسانس (لحظه اولیه) (ب) زمان ۲۴۰ دقیقه (ج) زمان ۴۸۰ دقیقه

با توجه به شماتیک گرافیکی به دست آمده در شکل ۴، نمودارهای مختلف در زمان‌های مختلف با گام ۳۰ دقیقه تا زمان نهایی ۴۸۰ دقیقه رسم گردید که جهت نمونه زمان‌های ۲۴۰ دقیقه و ۴۸۰ دقیقه (زمان نهایی به حد ثابت رسیدن غلظت) در ادامه گزارش گردید. در شکل ۵ ب، منحنی تغییرات غلظت در محفظه حاوی اسانس را در زمان ۲۴۰ دقیقه نشان می‌دهد که علت انتخاب زمان ۲۴۰ دقیقه، زمان میانگین بین لحظه اولیه (صفر دقیقه) و لحظه نهایی (۴۸۰ دقیقه) می‌باشد. همان‌طور که در این شکل نیز مشاهده می‌گردد، محفظه حاوی اسانس در این حالت نیز به ۳ ناحیه تبدیل شده است که ناحیه ۳ مشابه حالت قبل، مربوط مقدار مایع اسانس استخراج شده در انتهای محفظه نگهداری بوده، ناحیه ۲ ناحیه وسیعی را در بر گرفته و غلظت اسانس نعان در این ناحیه بسیار متغیر می‌باشد، علت این که این ناحیه حاوی مقادیر متفاوتی از غلظت اسانس می‌باشد این است که پس از گذشت ۲۴۰ دقیقه طبیعتاً میزان و مقدار اسانس تبخیر شده از سطح مایع مقدار قابل توجهی بوده و این مقدار ثابت نمی‌باشد و پس از مدت زمان بیشتر فرآیند، احتمال تغییر آن وجود داشته و دچار افزایش خواهد گردید. ناحیه ۱ نیز مربوط به بخش از محفظه می‌باشد که اسانس نعان هنوز به آن ناحیه نرسیده و غلظت در این نواحی تقریباً صفر می‌باشد. در انتها در شکل ۵ ج، منحنی تغییرات غلظت در محفظه حاوی اسانس پس از ۴۸۰ دقیقه نشان داده شده است که به صورت ۱ ناحیه ثابت می‌باشد که در شکل جهت مقایسه با دو شکل الف و ب با شماره ۳ نشان داده شده است، در این حالت غلظت اسانس در کل محفظه مقدار ثابتی داشته و نتایج نشان می‌دهد که تبخیر جزئی از سطح اسانس کل محفظه را پوشش داده و مقدار غلظت در کل محفظه مقدار ۱ را دارا خواهد بود. با نتایج به دست آمده از شکل ۴ و ۵ نقطه شروع فرآیند تبخیر اسانس به بیرون از محفظه به دست آمده و به صورت آزمایشگاهی و

۲-۳- نتایج آزمایشگاهی و تجربی

۳-۲-۱- اندازه‌گیری مقدار اسانس پس از مدت زمان مشخص با شرایط نگهداری متفاوت

در بخش قبل، نتایج حاصل از شبیه‌سازی در ۴ حالت مختلف نگهداری اسانس استخراج‌شده به دست آمد و به‌صورت جداگانه برای هر کدام از شرایط نگهداری، لحظه ثابت شدن غلظت در کل محفظه و یا به عبارتی نقطه تبخیر اسانس به خارج از محفظه بدست آمد. در این بخش با توجه به نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی، که برای حالت‌های مختلف، لحظه

خروج اسانس به خارج از محفظه متفاوت می‌باشد. اندازه‌گیری میزان حجم اسانس باقی مانده در محفظه در دوره‌های زمانی متفاوتی اندازه‌گیری شده است. مقدار حجم اسانس استخراج‌شده در ابتدای مرحله اسانس‌گیری، ۲/۴ میلی‌لیتر می‌باشد. در جدول ۲ و ۳ برای حالت درب باز و درب بسته محفظه به‌طور جداگانه، اندازه‌گیری‌های مقدار حجم اسانس انجام گرفته و نتایج حاصل‌شده گزارش شده است.

جدول ۲- مقدار حجم اسانس استخراج‌شده با گذشت زمان‌های مختلف در ظرف درب باز تحت شرایط دمایی محیط و یخچال

ظرف درب باز (یخچال)		ظرف درب باز (دمای محیط)	
حجم اسانس (میلی‌لیتر)	زمان اندازه‌گیری (دقیقه)	حجم اسانس (میلی‌لیتر)	زمان اندازه‌گیری (دقیقه)
۲/۴	۰	۲/۴	۰
۲/۴	۱۰۵	۲/۴	۳۰
۲/۳	۲۱۰	۲/۴*	۶۰
۲/۳*	۳۱۵	۲/۳	۹۰
۲/۲	۴۲۰	۲/۲	۱۲۰
۲/۱*	۵۲۵	۲/۱	۱۵۰
۲	۶۳۰	۲*	۱۸۰

* تقریباً: کمتر از مقدار گزارش شده می‌باشد.

(۳ ساعت)، حجم اسانس با کاهش بیش از ۰/۴ میلی‌لیتری، به مقدار کمتر از ۲ میلی‌لیتر رسید. اندازه‌گیری حجم اسانس در حالت درب باز در دمای یخچال نیز مشابه این حالت انجام گرفت و با گام ۱۰۵ دقیقه یک‌بار، مقدار حجم اسانس مورد اندازه‌گیری قرار گرفت، که پس از گذشت ۶۳۰ دقیقه (معادل ۱۰ ساعت و ۳۰ دقیقه)، حجم اسانس به مقدار ۲ میلی‌لیتر رسید.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده گردید، اندازه‌گیری‌های میزان حجم اسانس برای محفظه درب باز در دو شرایط دمایی مختلف (دمای محیط و یخچال) انجام گرفت که این مقادیر بر پایه محاسبات انجام گرفته در شبیه‌سازی که نقطه شروع فرآیند تبخیر اسانس را مشخص نموده بود انجام گرفته است، برای حالت ظرف درب باز در دمای محیط، این مقدار ۳۰ دقیقه بود که با این گام محاسبه میزان حجم اسانس باقیمانده در محفظه انجام گرفت و در نهایت پس از گذشت ۱۸۰ دقیقه

جدول ۳- مقدار حجم اسانس استخراج شده با گذشت زمان های مختلف در ظرف درب بسته تحت شرایط دمایی محیط و یخچال

ظرف درب بسته (یخچال)		ظرف درب بسته (دمای محیط)	
حجم اسانس (میلی لیتر)	زمان اندازه گیری (دقیقه)	حجم اسانس (میلی لیتر)	زمان اندازه گیری (دقیقه)
۲/۴	۰	۲/۴	۰
۲/۴	۴۸۰	۲/۴	۲۷۰
۲/۴	۹۶۰	۲/۴	۵۴۰
۲/۴	۱۴۴۰	۲/۴	۷۱۰
۲/۴	۱۹۲۰	۲/۴*	۱۰۸۰
۲/۴*	۲۴۰۰	۲/۳*	۱۳۵۰
۲/۴*	۲۸۸۰	۲/۲	۱۶۲۰

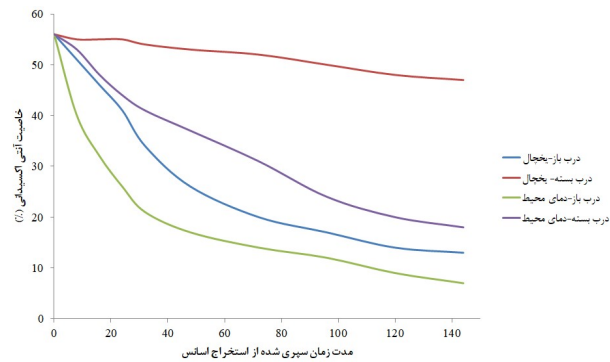
* تقریباً؛ کمتر از مقدار گزارش شده می باشد.

فرار بودن اسانس گیاهی استخراج شده، هر چقدر دمای نگهداری بیشتر باشد، این کاهش حجم تسریع خواهد شد.

۳-۲-۲- فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس روغنی نعنای با شرایط نگهداری متفاوت

اسانس های گیاهی خواص متعدد و بسیار مفیدی دارند که یکی از اصلی ترین خواص آن ها، توانایی مهار رادیکال های آزاد و یا به عبارتی فعالیت آنتی اکسیدانی آن ها می باشد، اسانس روغنی نعنای یکی از اسانس های مهم با خاصیت آنتی اکسیدانی بالا می باشد که در این بخش علاوه بر ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس نعنای، اثرات روش های مختلف نگهداری اسانس بر روی این خاصیت مورد ارزیابی قرار گرفته که نتایج آن در شکل ۶ گزارش شده است.

مشابه با جدول ۲، در جدول ۳ با حالت درب بسته محفظه نگهداری اسانس در دو حالت دمای محیط و دمای یخچال مورد اندازه گیری قرار گرفت که نتایج نشان داد در دمای محیط، محفظه درب بسته حاوی اسانس نعنای با گام ۲۷۰ دقیقه و پس از ۱۶۲۰ دقیقه (معادل ۲۷ اعت) کاهش ۰/۲ میلی لیتری داشته که نسبت به حالت مشابه آن (درب باز) کاهش بسیار کمی می باشد. همچنین با اندازه گیری مقدار حجم اسانس در ظرف درب بسته با شرایط دمایی یخچال، پس از گذشت ۲۸۸۰ دقیقه (معادل ۴۸ ساعت)، کاهش حجم اسانس بسیار اندک و مقدار ۰/۱ میلی لیتر می باشد. با مقایسه دو حالت درب باز و درب بسته محفظه نگهداری اسانس (نتایج جدول ۲ و ۳) نتایج نشان داد که در حالت درب بسته محفظه، میزان کاهش حجم اسانس بسیار طولانی تر بوده به نظر می رسد با توجه به



شکل ۶- فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس استخراج‌شده در طول زمان نگهداری تحت شرایط مختلف نگهداری

کلیدی داشته باشند که شامل دما و هوای محیط می‌باشد، در صورتی که عامل دما کاهش پیدا کرده و اثر مستقیم و تبادل هوا با اسانس به حداقل برسد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس حفظ گردیده و کاهش نامحسوسی خواهد داشت. مقایسه دو عامل دما و اثر محیط (هوا) و اثرگذاری آن‌ها بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس نشان داد که عامل هوا اثرگذاری بیشتری داشته و در صورت تبادل اسانس با هوا، خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن کاهش بیشتری خواهد داشت.

۳-۲-۳- خاصیت ضدباکتریایی اسانس روغنی نعناع با شرایط نگهداری متفاوت

یکی دیگر از خواص کاربردی و فوق‌العاده اسانس‌های گیاهی، خاصیت ضد باکتریایی آن‌ها بوده که در برگزیده طیف گسترده‌ای از باکتری‌های مختلف بوده که در مقابل اسانس‌های گیاهی توانایی رشد خود را از دست خواهند داد. در پژوهش حاضر از دو گونه مختلف باکتریایی گرم منفی (*اشرشیا کولی*) و گرم مثبت (*استافیلوکوکوس اورئوس*) ضمن بررسی خاصیت ضد باکتریایی اسانس روغنی نعناع، همچنین اثر شرایط نگهداری اسانس بر روی این خواص مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۴ و ۵ گزارش شده است.

همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس روغنی نعناع با مقدار ۵۶/۱۲٪ (در ابتدای فرآیند اسانس‌گیری) دارای فعالیت بالایی در مقایسه با سایر اسانس‌های گیاهی بوده که در مهار رادیکال آزاد به خوبی عمل خواهد کرد. جهت ارزیابی کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس استخراج‌شده با شرایط مختلف نگهداری، پس از گذشت فواصل زمانی مختلف، ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی برای ۴ شرایط مختلف نگهداری اسانس انجام گرفته و در نهایت پس از ۱۴۴ ساعت زمان نگهداری (معادل ۶ شبانه‌روز) فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها با شرایط مختلف ۱- دمای محیط با درب باز محفظه ۲- دمای محیط با درب بسته محفظه ۳- دمای یخچال با درب باز محفظه ۴- دمای یخچال با درب بسته محفظه به ترتیب به مقادیر ۷/۵۶٪، ۱۸/۷۱٪، ۱۳/۰۹٪ و ۴۷/۳۵٪ رسید. بدین ترتیب فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه در محفظه درب بسته تحت شرایط دمای یخچال کمترین کاهش خاصیت (۱۶٪) و نمونه در محفظه درب باز در دمای محیط با بیشترین کاهش خواص (تقریباً ۸۹٪) به ترتیب بهترین و بدترین شرایط نگهداری اسانس در برابر فعالیت آنتی‌اکسیدانی معرفی می‌شوند. به نظر می‌رسد دو عامل مهم و اساسی در اثرگذاری فعالیت آنتی‌اکسیدانی نقش

جدول ۴- خاصیت ضدباکتریایی اسانس استخراج شده در طول زمان نگهداری تحت شرایط مختلف نگهداری بر روی باکتری گرم مثبت *استافیلوکوکوس اورئوس* (میلی متر هاله ایجاد شده اطراف چاهک)

زمان انجام آزمون (ساعت پس از استخراج)	ظرف درب باز (یخچال)	ظرف درب بسته (یخچال)	ظرف درب باز (دمای محیط)	ظرف درب بسته (دمای محیط)
۰	۲۲±۰/۳	۲۲±۰/۳	۲۲±۰/۳	۲۲±۰/۳
۲۴	۱۹±۰/۳	۲۲±۰/۳	۱۲±۰/۲	۱۸±۰/۳
۴۸	۱۶±۰/۳	۲۲±۰/۲	۸±۰/۱	۱۴±۰/۳
۷۲	۱۲±۰/۲	۲۱±۰/۳	۶±۰/۱	۱۱±۰/۳
۹۶	۹±۰/۱	۲۰±۰/۲	۲±۰/۱	۹±۰/۲
۱۲۰	۷±۰/۱	۱۹±۰/۲	۲۲±۰/۳	۶±۰/۱
۱۴۴	۵±۰/۱	۱۹±۰/۱	۰±۰/۰	۴±۰/۱

نتایج به دست آمده در جدول ۴ و ۵ بر اساس قطر هاله تشکیل شده در اطراف چاهک اندازه گیری گردیده و تحلیل و تفسیر گردید، توضیح این که هرچقدر این مقدار بیشتر باشد، نشانگر خاصیت بیشتر نمونه مورد ارزیابی می باشد. همان طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، قطر هاله ایجاد شده در ابتدای فرآیند اسانس گیری ۲۲ میلی متر بوده که پس از گذشت زمان (گام های ۲۴ ساعته- معادل ۱ شبانه روز) با ارزیابی دوباره این خاصیت، قطر هاله ایجاد شده کاهش پیدا خواهد کرد. با ارزیابی نتایج به دست آمده از جدول ۴ نتایج نشان داد که خاصیت ضد باکتریایی اسانس روغنی نعنای در برابر باکتری گرم مثبت *استافیلوکوکوس اورئوس*، تحت شرایط نگهداری درب باز و دمای محیط بیشترین کاهش خاصیت را داشته و به طوری که پس از گذشت ۱۴۴ ساعت از شرایط نگهداری، این خاصیت به تقریباً صفر رسید و در مقابل شرایط نگهداری

درب بسته محفظه نگهداری اسانس تحت شرایط دمایی یخچال کمترین کاهش خاصیت ضدباکتریایی را با قطر هاله تشکیل شده ۱۹ میلی متر نشان داد. نمونه های نگهداری شده در حالت درب باز و دمای یخچال و درب بسته در دمای محیط به ترتیب دارای قطر هاله ۵ و ۴ میلی متر می باشند. بدین ترتیب شرایط نگهداری اسانس در محفظه با درب بسته در دمای یخچال با کاهش ۱۳٪ در خاصیت ضد باکتریایی، بهترین شرایط نگهداری اسانس انتخاب گردید. با مقایسه اثرات دما و هوا بر روی خاصیت ضدباکتریایی، نتایج نشان داد که این دو عامل تقریباً به طور یکسان بر روی خاصیت ضدباکتریایی اثرگذار بوده و در صورتی که اسانس تحت شرایط دمایی پایین و عدم تبادل با محیط نگه داری گردد، خاصیت بالاتر ضدباکتریایی از خود نشان خواهد داد.

جدول ۵- خاصیت ضدباکتریایی اسانس استخراج شده تحت شرایط مختلف نگهداری بر روی باکتری گرم منفی *اشرشیا کولی* (میلی‌متر)
 هاله ایجاد شده اطراف چاهک

ظرف درب	ظرف	ظرف	ظرف	زمان انجام آزمون (ساعت پس از استخراج)
بسته (دمای محیط)	درب باز (دمای محیط)	درب بسته (یخچال)	درب باز (یخچال)	
۱۷±۰/۲	۱۷±۰/۳	۱۷±۰/۴	۱۷±۰/۲	۰
۱۳±۰/۳	۹±۰/۳	۱۷±۰/۲	۱۳±۰/۳	۲۴
۱۰±۰/۳	۵±۰/۲	۱۷±۰/۲	۱۱±۰/۲	۴۸
۹±۰/۲	۳±۰/۳	۱۶±۰/۲	۸±۰/۱	۷۲
۷±۰/۱	۱±۰/۱	۱۵±۰/۲	۶±۰/۲	۹۶
۵±۰/۲	۱±۰/۰	۱۵±۰/۲	۵±۰/۲	۱۲۰
۴±۰/۱	۰±۰/۰	۱۵±۰/۱	۴±۰/۱	۱۴۴

باکتری‌های گرم مثبت)، بهترین شرایط نگهداری مربوط به محفظه حاوی اسانس با درب بسته تحت شرایط دمایی یخچال با ۱۵ میلی‌متر قطر هاله (۱۱٪ کاهش خاصیت) و بدترین شرایط نگهداری مربوط به محفظه حاوی اسانس با درب باز تحت شرایط دمایی محیط (۱۰۰٪ کاهش خاصیت) پس از ۱۴۴ ساعت (معادل ۶ شبانه‌روز) بود. دیگر شرایط نگهداری که شامل ظرف درب باز در دمای یخچال و ظرف درب بسته در دمای محیط می‌باشد، با قطر هاله ایجاد شده ۴ میلی‌متر، دستخوش تغییر و کاهش ۷۶٪ در خاصیت ضد باکتریایی گردیدند. بدین ترتیب مشابه با حالت قبل، اثر دما و هوا بر روی خاصیت ضد باکتریایی اثری یکسان داشته و در صورت جلوگیری از تبادل هوا با اسانس روغنی و نگهداری در دمای پایین‌تر، اسانس خاصیت ضدباکتریایی بهتری از خود نشان خواهد داد.

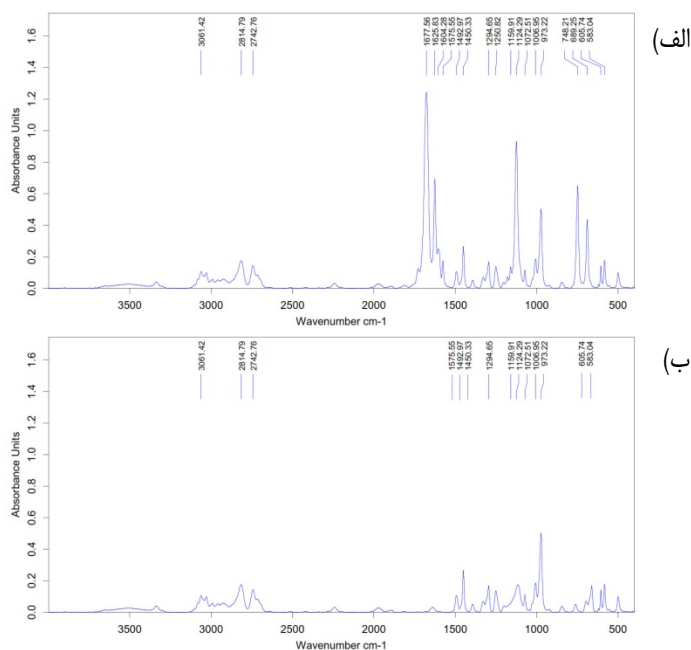
در جدول ۵ نتایج حاصل از خاصیت اسانس روغنی نعناع بر روی باکتری گرم منفی *اشرشیا کولی* گزارش شده است که در این جدول نیز مشابه با جدول ۴، نتایج گزارش شده بر اساس قطر هاله تشکیل شده در اطراف چاهک حاوی اسانس نعناع می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در ابتدای فرآیند اسانس‌گیری قطر هاله ایجاد شده ۱۷ میلی‌متر بوده که در مقایسه با اثر و خاصیت این اسانس بر روی باکتری گرم مثبت *استافیلوکوکوس اورئوس* میزان کمتری داشته که در سایر پژوهش‌های محققان نیز نتایج مشابه به دست آمده است، به طوری که با توجه به وجود لایه مستحکم لیپوپلی ساکارییدی^۱ در باکتری‌های گرم منفی، باعث مقاومت نسبی بیشتر آن‌ها نسبت به باکتری‌های گرم مثبت در مقابل عوامل خارجی می‌باشد (۱ و ۹). با مقایسه نتایج به دست آمده از خاصیت ضد باکتریایی اسانس روغنی نعناع در شرایط مختلف نگهداری آن، مشابه با حالت قبل (اثر اسانس بر روی

۳-۲-۴- طیف‌سنجی FTIR اسانس روغنی نعناع

آنالیز FTIR یکی از روش‌های مناسب جهت پی بردن به گروه‌های عاملی موجود در مواد بوده که روشی ساده و کم هزینه می‌باشد (۸). با توجه به نتایج به دست آمده از خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی اسانس روغنی نعناع در ابتدای استخراج و اسانس‌گیری آن و پس از گذشت مدت زمان معین در نمونه با ظرف درب باز در شرایط دمای محیط که

کاهش محسوسی در خواص آن صورت گرفت. در بخش حاضر طیف‌سنجی FTIR در دو حالت:

- ۱- ابتدای فرآیند اسانس‌گیری
 - ۲- پس از گذشت ۱۴۴ ساعت (معادل ۶ شبانه‌روز)
- انجام گرفت که نتایج آن در شکل ۷ الف و ب گزارش شده است.



شکل ۷- طیف‌سنجی FTIR اسانس روغنی نعناع در محفظه درب باز با شرایط دمایی محیط در دو حالت الف) پس از اسانس‌گیری در لحظه اولیه ب) پس از گذشت ۱۴۴ ساعت

گروه‌های آروماتیک و کربوکسیلی می‌باشد، با مقایسه شکل ۷ الف و ب، گروه‌های عاملی شاخص و اصلی موجود در اسانس نعناع در حالت اولیه، در شکل ۷ ب مشاهده نشده و نتایج نشان می‌دهد که با گذشت زمان و اثرات دما و عوامل محیطی بر روی اسانس اثرات نامطلوبی برجای گذاشته و باعث از بین رفتن خواص آن شده‌اند که در شکل ۷ ب به وضوح کاهش و حتی حذف گروه‌های عاملی مربوط به آن مشاهده می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۷ الف نشان داده شده است، آنالیز طیف‌سنجی FTIR حاصل از اسانس استخراج شده در لحظه اولیه شامل گروه‌های عاملی مختلف و متعددی بوده که عددهای موجی ۱۶۷۷، ۱۱۵۹ و ۷۴۸ cm^{-1} به طور محسوس‌تر و دارای شیب‌های بسیار تند و تیزتر از سایر پیک‌های موجود در آنالیز می‌باشد که عمده خواص اسانس نعناع که شامل خاصیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی می‌باشد، مربوط به این گروه‌های عاملی که شامل آلکان‌ها،

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر در سه بخش اصلی انجام گرفت که شامل اسانس‌گیری از گیاه نعناع، شبیه‌سازی شرایط نگهداری در حالات مختلف و در نهایت کاربرد و خاصیت اسانس استخراج‌شده پس از مدت زمان نگهداری با شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. استخراج اسانس روغنی نعناع با استفاده از دستگاه کلونجر و روش تقطیر با آب و بخار انجام گرفت، روش حاضر یکی از بهترین روش‌ها در استخراج اسانس‌های گیاهی بوده که کم‌ترین آسیب را به خواص مختلف آن منجر خواهد شد. شرایط مختلف نگهداری برای اسانس استخراج‌شده که شامل اثرات دما (دمای محیط و یخچال) و اثرات هوا (محفظه با درب باز و درب بسته) در نظر گرفته شد و با شبیه‌سازی شرایط مختلف با توجه به فرار بودن اسانس‌های گیاهی، نقطه شروع، به عبارتی زمان اولیه تبخیر اسانس محاسبه گردید که برای ظرف درب بسته محتوی اسانس تحت دمای یخچال طولانی‌ترین و ظرف درب باز محتوی اسانس تحت دمای محیط سریع‌ترین زمان تبخیر بدست آمد. در نهایت مقدار اسانس، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و خاصیت ضد باکتریایی اسانس استخراج‌شده تحت شرایط مختلف نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج نشان داد، دو عامل دما و هوا اثرات مستقیمی بر مقدار و خواص اسانس خواهند داشت، به طوری که اثر درب محفظه حاوی اسانس در حالتی که بسته باشد (تبادل با هوا) اثر بیشتر و مهم‌تری در مقایسه با شرایط دمایی نگهداری (یخچال و دمای محیط) از خود در مقابل مقدار اسانس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نشان داد و در خاصیت ضدباکتریایی اثر این دو عامل یکسان می‌باشد. در نهایت برآیند کلی نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر بدین صورت می‌باشد که جهت نگهداری اسانس به صورت طولانی‌مدت، نیاز است که اسانس در دمای پایین نگهداری شده و ظرف محتوی اسانس حتماً به صورت عایق‌بندی نوری و تبادل ماده باشد تا کمترین آسیب به اسانس استخراج‌شده وارد گردد.

۵- منابع

1. Abubakar A. R, Haque M. Preparation of medicinal plants: basic extraction and fractionation procedures for experimental purposes. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*. 2020; 12(1): 1.
2. Ahmadi O, Jafarizadeh-Malmiri, H. Green approach in food nanotechnology based on subcritical water: effects of thyme oil and saponin on characteristics of the prepared oil in water nanoemulsions. *Food Science Biotechnology*. 2020; 29(6): 783-792.
3. Ahmadi O, Jafarizadeh-Malmiri H. Intensification and optimization of the process for thyme oil in water nanoemulsions preparation using subcritical water and xanthan gum. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*. 2021a; 235(5): 629-648.
4. Ahmadi O, Jafarizadeh-Malmiri H. Intensification process in thyme essential oil nanoemulsion preparation based on subcritical water as green solvent and six different emulsifiers. *Green Processing Synthesis*. 2021b 10(1): 430-439.
5. Ahmadi O, Seifi M, Jafarizadeh-Malmiri, H. Simulation of Silver Nanoparticles Green Synthesis Using Aloe Vera leaf Extract and Microwave Heating, and Evaluation of their Characteristics. *Iranian Chemical Engineering Journal*. 2021; 20(114): 82-96.
6. Alshahrani S. H, Alameri A. A, Zabibah R. S, Jalil A. T. J, Ahmadi O, Behbudi G. Screening Method Synthesis of AgNPs Using *Petroselinum crispum* (parsley) Leaf: Spectral Analysis of the Particles and Antibacterial Study. *Journal of the Mexican Chemical Society*. 2022; 66(4).
7. Chanotiya C. S, Pragadheesh V, Yadav A, Gupta P, Lal R. K. Cyclodextrin-based Gas Chromatography and GC/MS methods for determination of chiral pair constituents in mint essential oils.

- B. Modeling the kinetics of essential oil hydrodistillation from plant materials. *Hemijiska industrija*. 2013; 67(5): 843-859.
16. Osimani A, Garofalo C, Harasym J, Aquilanti L. Use of essential oils against foodborne spoilage yeasts: advantages and drawbacks. *Current Opinion in Food Science*. 2022; 45: 100821.
17. Sarkhosh A, Schaffer B, Vargas A, Palmateer A, Lopez P, Soleymani A, Farzaneh M. Antifungal activity of five plant-extracted essential oils against anthracnose in papaya fruit. *Biological Agriculture & Horticulture*. 2018; 34(1): 18-26.
18. Sartor R. B, Secchi A. R, Soares R. d. P, Cassel E. Dynamic simulation of rosemary essential oil extraction in an industrial steam distillation unit. *Industrial Engineering Chemistry Research*. 2011; 50(7): 3955-3959.
19. Sousa V. I, Parente J. F, Marques J. F, Forte M. A, Tavares C. J. Microencapsulation of Essential Oils: A Review. *Polymers*. 2022; 14(9): 1730.
20. Torrentó Mingatos M. 2019. Use of essential oils as alternative to food additives.
21. Yahya N. A, Attan N, Wahab R. A. An overview of cosmeceutically relevant plant extracts and strategies for extraction of plant-based bioactive compounds. *Food and Bioproducts Processing*. 2018; 112: 69-85.
22. Zochedh A, Priya M, Shunmuganarayanan A, Thandavarayan K, Sultan A. B. Investigation on structural, spectroscopic, DFT, biological activity and molecular docking simulation of essential oil Gamma-Terpinene. *Journal of Molecular Structure*. 2022; 1268: 133651.
23. Zorpeykar S, Mirzaee-Ghaleh E, Karami H, Ramedani Z, Wilson A. D. Electronic Nose Analysis and Statistical Methods for Investigating Volatile Organic Compounds and Yield of Mint Essential Oils Obtained by Hydrodistillation. *Chemosensors*. 2022; 10(11): 486.
- Journal of Essential Oil Research*. 2021; 33(1): 23-31.
8. Eshghi M, Kamali-Shojaei A, Vaghari H, Najian Y, Mohebian Z, Ahmadi O, Jafarizadeh-Malmiri H. Corylus avellana leaf extract-mediated green synthesis of antifungal silver nanoparticles using microwave irradiation and assessment of their properties. *Green Processing Synthesis*. 2021; 10(1): 606-613.
9. Esmaili S, Zinsaz P, Ahmadi O, Najian Y, Vaghari H, Jafarizadeh-Malmiri H. Screening of four accelerated synthesized techniques in green fabrication of ZnO nanoparticles using Willow leaf extract. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*. 2022.
10. Goncalves D, Costa P, Bejar C. L, Bocquet A, Rodrigues C. E, Rodrigues A. E. Air diffusion of aroma-active components from crude citrus essential oils and their extract phases obtained by solvent extraction. *Industrial Engineering Chemistry Research*. 2018; 57(16): 5670-5679.
11. Isman M. B. Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. *Phytochemistry reviews*. 2020; 19(2): 235-241.
12. Mahboubi M. Mentha spicata L. essential oil, phytochemistry and its effectiveness in flatulence. *Journal of Traditional Complementary Medicine*. 2021; 11(2), 75-81.
13. Makanjuola S. A. Influence of particle size and extraction solvent on antioxidant properties of extracts of tea, ginger, and tea-ginger blend. *Food science & nutrition*. 2017; 5(6), 1179-1185.
14. Mehran M, Masoum S, Memarzadeh M. Microencapsulation of Mentha spicata essential oil by spray drying: Optimization, characterization, release kinetics of essential oil from microcapsules in food models. *Industrial Crops Products*. 2020; 154, 112694.
15. Milojević S, Radosavljević D. B, Pavićević V, Pejanović S, Veljković V.

