

## استفاده از ترکیبات دیواره صمغ عربی، مالتودکسترین و اینولین جهت ریزپوشانی و رهایش سریع ترکیبات مؤثره اسانس هل در بزاق

مصطفی شهیدی نوقابی<sup>۱\*</sup>، محمد ملاویسی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار، گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران  
\* نویسنده مسئول (m.shahidi@rifst.ac.ir)

۲- دانشجوی دکتری، گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

### چکیده

در این پژوهش کربوهیدرات‌های صمغ عربی (۰-۱۰۰ درصد)، مالتودکسترین (۰-۵۰ درصد) و اینولین (۰-۵۰ درصد) به‌عنوان ترکیبات دیواره جهت ریزپوشانی اسانس هل مورد استفاده قرار گرفتند. از طرح آماری مخلوط ساده-مرکزی جهت طراحی آزمایش‌ها، بهینه‌یابی و یافتن بهترین ترکیب دیواره برای حداکثر رهایش در دهان استفاده شد. هدف از این تحقیق ریزپوشانی مواد مؤثره موجود در اسانس هل و مقایسه تأثیر افزودن مالتودکسترین و اینولین به صمغ عربی به‌عنوان مواد پوشش‌دهنده روی پاسخ‌های بازده ریزپوشانی اسانس هل، ترکیبات مؤثره آن، آزادسازی مواد مؤثره و بازیابی پودر بود. همچنین در این تحقیق ارتباط بین دمای انتقال شیشه‌ای با رهایش مواد مؤثره اسانس هل، در بزاق بررسی شده است. نتایج نشان داد ترکیب بهینه شامل صمغ عربی، مالتودکسترین و اینولین با نسبت‌های به ترتیب ۰/۰:۳۳/۲:۶۶/۸ بود و تحت این شرایط بازده ریزپوشانی روغن، آلفا-ترینیل استات و ۱ و ۸ سینئول به ترتیب ۸۳/۵۷، ۹۱/۷۹ و ۹۰/۸۷ درصد، رهایش ماده مؤثره در بزاق ۹۳/۲۷ درصد و بازیابی پودر ۶۷/۷۲ درصد به دست آمد. دمای انتقال شیشه‌ای ترکیب بهینه برابر ۴۲/۹ درجه سانتی‌گراد بود که دمای مناسبی برای حفظ مواد مؤثره در دمای محیط و رهایش در محیط شبیه‌سازی شده دهان بود. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان ریزکپسول‌های بهینه اسانس هل تولید شده را به صورت موفقیت‌آمیزی در محصولاتمانند شکلات، نبات و قندجبه‌ای بدون رهایش اجزاء در دمای نگهداری و با رهایش سریع و بالا در دهان به کار برد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۳۱

### واژه‌های کلیدی

اسانس هل

اینولین

رهایش

ریزپوشانی

صمغ عربی

### مقدمه

اسانس‌های مختلف گیاهی از جمله مواد مولد عطر و طعم طبیعی بوده که اهمیت زیادی در فرآورده‌های غذایی دارند. هل<sup>۱</sup> با نام علمی *Allettaria cardamom*<sup>۲</sup> از تیره زنجبیل و یک گیاه گرمسیری می‌باشد. منشأ هل جنگل‌های کوهستانی هند و سریلانکاست که به صورت خودرو در آنجا می‌روید (آفاق‌هایده، ۱۳۸۳). مواد مؤثره

خواص حسی برای پذیرش مواد غذایی توسط مصرف‌کنندگان از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند. در میان این ویژگی‌ها، عطر و طعم از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و ممکن است تعیین‌کننده مصرف یا عدم مصرف یک ماده غذایی باشد. ترکیبات طعم‌دار اغلب جهت بهبود کیفیت حسی یا پنهان کردن طعم‌های نامطلوب به مواد غذایی افزوده می‌گردند.

<sup>۱</sup> Cardamom

<sup>۲</sup> *Elettaria cardamomum*

تشکیل امولسیون و ظرفیت نگهداری بالای ترکیبات فرار و مواد آب‌گریز توسط صمغ عربی باعث شده تا در بسیاری از روش‌های ریزپوشانی مورد توجه باشد. سفید رنگ و محلول در آب است و عمدتاً شامل کربوهیدرات‌هاست (Shiga et al., 2001). مالتودکسترین توانایی ایجاد شبکه در فرایندهای مختلف ریزپوشانی را داشته و همچنین بازده ریزپوشانی به دست آمده توسط این ترکیب بالا می‌باشد. مالتودکسترین ویسکوزیته پایینی راحتی در غلظت‌های بالا داشته و قیمت پایینی دارد. در دسترس بودن آنها، از عوامل مهم در استفاده از این ترکیبات در فرایندهای مختلف ریزپوشانی بوده و شکل ظاهری این ترکیبات، پودر سفید رنگ است (Apintanapong & Noomhorm, 2003). اینولین از واحدهای فروکتوز با پیوندهای بتا (۱ به ۲) با یک واحد گلوکز در انتهای زنجیره تشکیل شده است (Bakowska-Barczak & Kolodziejczyk, 2011). اینولین‌های تجاری مختلف، خلوص خیلی بالا و مشخصات پودری و ترکیب کربوهیدراتی متفاوت دارند. اینولین یک فیبر رژیمی است که اثرات پری‌بیوتیک نشان می‌دهد و می‌تواند قابلیت در دسترس بودن کلسیم را بهبود بخشد (Robert, García, Reyes, Chávez, & Santos, 2012). فرایندهای متفاوتی جهت ریزپوشانی طعم‌ها استفاده می‌گردد. یکی از فرایندهای اصلی برای این مورد، خشک‌کن پاششی<sup>۳</sup> است، که برای این فرایند از مالتودکسترین<sup>۴</sup>، صمغ عربی<sup>۵</sup> و نشاسته اصلاح شده<sup>۶</sup> به عنوان دیواره استفاده می‌شود (Goubet, Le Quere, & Voilley, 1998).

خشک کردن پاششی برای طیف وسیعی از مواد از جمله اسانس‌ها، اجزای غذایی فراسودمند و دارویی، ترکیبات معطره و روغن‌های با مصارف خاص به کار می‌رود (Patel, Patel, & Suthar, 2009). از دلایل توسعه این روش می‌توان به در دسترس بودن تجهیزات و پایین بودن هزینه‌های عملیاتی آن، امکان استفاده از طیف وسیعی از دیواره‌ها، حفظ مناسب ترکیبات فرار، کیفیت مطلوب محصول نهایی و سادگی اجرای آن به صورت مداوم اشاره کرد (Reineccius, 1995).

یکی از خصوصیات مهم مواد ریزپوشانی شده، امکان رهايش<sup>۷</sup> آنها در شرایط کنترل شده و در زمان و مکان مناسب است. در واقع اگر ریزکپسولی تولید شود که پایداری و ویژگی محافظتی مناسبی داشته باشد اما رهايش آن در محیط

هل جزء گروه روغن‌های فرار است که حاوی الکل می‌باشد. ۸۰۱ سینئول<sup>۱</sup> و آلفا- ترپنیل استات<sup>۲</sup> اصلی‌ترین مواد مؤثره هل بوده که تعیین کننده خواص عطروطعم دانه‌های هل هستند (Krishnan, Bhosale, & Singhal, 2005). دانه‌های هل جزء داروهای معطر بوده و به عنوان محرک، بادشکن و تغییردهنده و مطبوع کننده طعم داروها و غذاها به کار برده می‌شود. پودر آن خاکستری مایل به قرمز یا قهوه‌ای با بوی معطر و طعم گس و تند مانند ادویه می‌باشد (شریعت‌هادی، ۱۳۶۸). در صنایع غذایی در محصولاتمانند نوشابه‌های غیرالکلی، بستنی، شیرینی‌ها، آدامس، چاشنی‌ها، گوشت و کیک و کلوچه استفاده می‌شود (آفاق‌هایده، ۱۳۸۳).

اسانس‌ها ترکیبات فراری بوده و لذا در محیط ناپایدارند. حساسیت اسانس هل به اکسیداسیون زیاد بوده و این باعث تجزیه و ایجاد بوی نامطلوب از این اسانس طبیعی می‌شود (Krishnan et al., 2005) ریزپوشانی یکی از فرایندهای نوین در صنایع غذایی است که می‌تواند ترکیبات فرار را در مقابل اکسیداسیون محافظت کرده و در زمان مورد نیاز این ترکیبات را به صورت کنترل شده آزاد نماید (Najafi Najaf, Mortazavi, Koocheki, Khorami, & Rekik, 2009).

جهت کنترل کیفیت حسی مواد غذایی، درک سازوکار نگهداری و آزادسازی ترکیبات فرار توسط ترکیبات دیواره ضروری است. در این زمینه بعضی ترکیبات فرار نسبت به ترکیبات دیگر بهتر نگهداری می‌شوند و بعضی دیواره‌ها نسبت به دیواره‌های دیگر مؤثرترند. مطالعه‌های زیادی نشان می‌دهند که شرایط فرایند، جنس دیواره و نوع ماده طعم‌دار، عوامل تعیین کننده در نگهداری مواد فرار هستند (Frascareli, Silva, Tonon, & Hubinger, 2012; Kubo, Himejima, & Muroi, 1991; Shahidi & Han, 1993).

معمولاً طراحی دیواره به گونه‌ای صورت می‌گیرد که محتویات داخل ریزکپسول‌ها بتوانند با سرعت کنترل شده و تحت شرایط مورد نظر آزاد شوند (Lee, Hwang, Park, & Park, 2003). در این میان دیواره اهمیت زیادی در حفظ این ترکیبات دارد (Imagi, Muraya, Yamashita, Adachi, & Matsuno, 1992; Minemoto, Adachi, & Matsuno, 1999; Yoshii et al., 1997).

صمغ عربی یکی از مهم‌ترین صمغ‌هایی است که به عنوان دیواره در ریزپوشانی ترکیبات مولد طعم و بو مورد استفاده قرار می‌گیرد. حلالیت مناسب، ویسکوزیته پایین، خصوصیات

<sup>3</sup> Spray-drying

<sup>4</sup> Maltodextrin

<sup>5</sup> Gum Arabic

<sup>6</sup> Modified starch

<sup>7</sup> Release

<sup>1</sup> 1,8 Cineol

<sup>2</sup>  $\alpha$ -Triphenyl acetate

از همگن‌ساز اولتراتوراکس (مدل T50، شرکت IKA، ساخت آلمان) با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه و در دمای محیط جهت همگن‌سازی اولیه استفاده شد و جهت همگن‌سازی ثانویه از امواج فراصوت استفاده شد. در تمام مراحل همگن‌سازی، خنک‌سازی توسط حمام آب سرد انجام گرفت. بدین جهت امولسیون اولیه پس از انتقال به محفظه‌ای استوانه‌ای شکل و دو جداره از جنس فولاد زنگ‌نزن به قطر داخلی ۳ و عمق ۱۰ سانتی‌متر به مدت ۳ دقیقه در ۷۵۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز همگن‌سازی شد. انتقال امواج فراصوت از بلور پیروالکترونیک به نمونه توسط پروب استوانه‌ای شکلی از جنس تیتانیوم به قطر ۱۹ میلی‌متر که در عمق ۱ سانتی‌متر زیر سطح آن غوطه‌ور می‌شود، انجام شد. دمای محلول با چرخش مداوم آب سرد در بین دو جداره استوانه در ۲۵ درجه سانتی‌گراد ثابت نگهداشته شد (Jafari, He, & Bhandari, 2007).

#### تهیه ریزکپسول

محلول‌های امولسیونی تهیه‌شده با خشک‌کن پاششی (مدل B190، شرکت Buchi، ساخت سوئیس) خشک شدند. شرایط خشک‌کن پاششی به این شرح بود: دمای هوای ورودی  $10 \pm 70$  درجه سانتی‌گراد، دمای هوای خروجی  $10 \pm 70$  درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوا ۶۰۰ لیتر بر ساعت، سرعت پمپ خوراکی ۱۰ میلی‌لیتر بر دقیقه و فشار ۴ بار. ریزکپسول‌های به‌دست‌آمده تا زمان انجام آزمون در ظروف بسته‌شده با پارافین در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

#### طراحی آزمایش و آنالیزهای آماری

جهت تعیین ترکیب بهینه دیواره از طرح مخلوط ساده-مرکزی با استفاده از نرم‌افزار Design Expert نسخه ۷.۱ استفاده شد. تیمارها و پاسخ‌هایی که موردبررسی قرار گرفته‌اند در **جدول (۱)** نشان داده شده است. متغیرهای این بخش شامل نسبت‌های مختلف صمغ عربی (۰ تا ۱۰۰ درصد)، مالتودکسترین (۰ تا ۵۰ درصد) و اینولین (۰ تا ۵۰ درصد) و پاسخ‌های موردبررسی شامل بازده ریزپوشانی اسانس، بازده ریزپوشانی ترکیبات مؤثره اسانس (آلفا-ترینیل استات و ۸۱ سینئول)، آزادسازی مواد مؤثره در محیط شبیه‌سازی‌شده دهان و بازیابی پودر بود. از طریق بررسی  $P$ -Value، معنی‌دار بودن یا نبودن هر یک از ضرایب مدل‌های

موردنظر به‌خوبی انجام نشود، اهداف ریزپوشانی برآورده نشده است (Chiu & Moss, 2007; Lee, Park, & Ha, 1997). بدین ترتیب یافتن بهترین شرایط رهایش مواد، اهمیت بسزایی داشته و توجه پژوهشگران را به‌خود جلب کرده است. لذا هدف از این تحقیق در مرحله اول ریزپوشانی مواد مؤثره (۸۱ سینئول و آلفا-ترینیل استات) موجود در اسانس هل و مقایسه تأثیر افزودن مالتودکسترین و اینولین به صمغ عربی به‌عنوان مواد پوشش‌دهنده روی پاسخ‌های موردنظر بود. بازده ریزپوشانی و رهایش مواد مؤثره در شرایط دهان و بازیابی هر یک از پودرها موردبررسی قرار گرفت. همچنین هدف بعدی این تحقیق ارتباط بین دمای انتقال شیشه‌ای با درصد رهایش بالای مواد مؤثره اسانس هل، در محیط شبیه‌سازی‌شده دهان می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### مواد شیمیایی

اسانس هل از شرکت اکسیر گل سرخ (مشهد، ساخت ایران) خریداری شدند. صمغ عربی، اینولین (درجه پلیمریزاسیون بیشتر از ۱۰) و مالتودکسترین ( $DE < 20$ ) از شرکت سیگما آلدريج تهیه شد. استانداردهای آلفا-ترینیل استات و ۸۱ سینئول (با خلوص بالا ۹۹ درصد) نیز از شرکت سیگما آلدريج تهیه گردیدند. هگزان با خلوص بالا (۹۵ درصد) از شرکت هامون طب (ساخت ایران) تهیه شدند.

##### تهیه امولسیون

محلول صمغ عربی، مالتودکسترین و اینولین در نسبت‌های مختلف و با غلظت کلی (ترکیب دیواره) ۲۵ درصد وزنی-وزنی در آب دیونیزه تهیه شدند. عملیات هم‌زدن و تهیه محلول‌ها در مدت ۱ ساعت و به کمک همزن مغناطیسی انجام گرفت و سپس محلول‌های آماده‌شده برای حداکثر جذب آب به مدت ۲۴ ساعت در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند، لازم به ذکر است که pH کلیه محلول‌ها با استفاده از سود ۰/۱ نرمال، در نقطه ۷ تنظیم شد و برای جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها و فعالیت میکروبی در طول دوره نگهداری به میزان ۲۰۰ پی.پی.ام سدیم آزاید به آنها اضافه شد. سپس به این مخلوط‌ها امولسیفایر توتین ۸۰ به میزان ۲ درصد وزنی-وزنی نسبت به دیواره اضافه شد و به کمک همزن مغناطیسی به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۵۵۰ دور در دقیقه مخلوط گردیدند. آنگاه اسانس هل با نسبت ۵ درصد وزنی-وزنی قطره‌قطره، به مخلوط اضافه شد.

استات، Y3: بازده ریزپوشانی ۸۰۱ سینتول، Y4: آزادسازی ماده مؤثره و Y5: بازیابی پودر است،  $\beta 123$  و  $\beta 13$  و  $\beta 23$  اثر برهم‌کنش‌های سه‌تایی و دوتایی بین دیواره‌های مختلف را نشان می‌دهد،  $\beta 1$ ،  $\beta 2$  و  $\beta 3$  ضرایب رگرسیون برای هر کدام از اثرات خطی است و A1، B2 و C3 درصد دیواره‌های مختلف به ترتیب برای صمغ عربی، مالتودکسترین و اینولین هستند. اهمیت آماری هر یک از جمله‌های معادله‌های رگرسیون با استفاده از تحلیل واریانس (ANOVA) برای هر پاسخ بررسی شد. فرمول بهینه براساس پاسخ‌های مطلوب و با در نظر گرفتن تابع مطلوبیت<sup>۲</sup> تعیین شد (Anarjan, Fahimdanesh, & Jafarizadeh- (Malmiri, 2017).

ارائه‌شده توسط نرم‌افزار Design Expert مشخص شد و مقادیر بالارزش بالاتر از ۰/۰۵ معنی‌دار نبوده و از مدل‌ها حذف شدند تا مدل‌های جدیدی با پارامترهای معنی‌دار به دست آیند. کیفیت مدل‌های مناسب از طریق بررسی ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده<sup>۱</sup> مورد بررسی قرار گرفتند. مدل چندجمله‌ای درجه سوم برای برازش داده‌ها مورداستفاده قرار گرفت (رابطه ۱):

رابطه (۱)

$$Y = \beta 1 A 1 + \beta 2 B 2 + \beta 3 C 3 + \beta 12 A 1 B 2 + \beta 13 A 1 C 3 + \beta 23 B 2 C 3 + \beta 123 A 1 B 2 C 3 + \beta 12 (1-2) A 1 B 2 (A 1 - B 2) + \beta 13 (1-3) A 1 C 3 (A 1 - C 3) + \beta 23 (2-3) B 2 C 3 (B 2 - C 3)$$

در رابطه (۱)،  $Y_i$ : متغیر وابسته پیش‌بینی شده شامل؛

Y1: بازده ریزپوشانی، Y2: بازده ریزپوشانی آلفا-تریپنیل

جدول ۱- طرح آزمایش مرکزی برای مخلوط ترکیبات بیوپلیمری دیواره‌ها و مقادیر به دست آمده برای هر پاسخ

تیمار	فرمولاسیون مواد دیواره	بازده ریزپوشانی روغن (درصد)	بازده ریزپوشانی آلفا-تریپنیل استات (درصد)	بازده ریزپوشانی ۸۰۱ سینتول (درصد)	آزادسازی ماده مؤثره (درصد)	بازیابی پودر (درصد)
۱	صمغ عربی: مالتودکسترین: اینولین (۲۲:۲۲:۵۶)	۷۰	۸۹/۳۴	۸۹/۸۳	۹۱/۱۷	۶۶/۷۷
۲	صمغ عربی: اینولین (۳۱:۶۹)	۶۰/۲۰	۸۲/۷۷	۸۰/۴۱	۹۳/۷۵	۶۵/۶۶
۳	صمغ عربی: اینولین (۵۰:۵۰)	۲۹/۲۰	۹۰/۸۱	۸۱/۳۵	۹۱/۳۱	۶۴/۳۷
۴	صمغ عربی: مالتودکسترین (۵۰:۵۰)	۴۴/۴۰	۸۹/۳۳	۸۷/۰۴	۹۲/۱۳	۶۹/۷۱
۵	صمغ عربی: مالتودکسترین: اینولین (۲۱:۴۳:۳۶)	۲۳/۲۰	۹۱/۸۸	۸۸/۹۲	۹۳/۵۵	۶۴/۸۲
۶	صمغ عربی: مالتودکسترین: اینولین (۸:۱۴:۷۸)	۸۰/۰۰	۹۴/۹۶	۹۳/۹۹	۸۹/۲۳	۶۰/۴۲
۷	صمغ عربی (۱۰۰)	۷۸/۴۰	۹۷/۳۳	۹۶/۶۱	۸۷/۴۵	۵۶/۰۰
۸	صمغ عربی: اینولین (۵۰:۵۰)	۲۷/۲۰	۸۹/۸۵	۸۲/۳۹	۹۲/۳۸	۶۱/۸۲
۹	صمغ عربی (۱۰۰)	۷۴/۲۰	۹۷/۵	۹۶/۹	۸۸/۵۱	۵۷/۴۰
۱۰	صمغ عربی: اینولین (۳۴:۶۶)	۷۴/۶۰	۹۱/۶۳	۹۰/۶۹	۹۳/۳۵	۶۸/۱۱
۱۱	صمغ عربی: مالتودکسترین: اینولین (۴۱:۲۴:۳۵)	۲۵/۶۰	۸۸/۱۰	۸۲/۴۸	۹۲/۵۸	۶۰/۳۷
۱۲	صمغ عربی: مالتودکسترین: اینولین (۳۶:۵۰:۱۴)	۲۳/۰۰	۸۵/۳۰	۷۵/۴۴	۹۵/۲۴	۶۹/۵۳
۱۳	صمغ عربی: مالتودکسترین: اینولین (۵۰:۳۸:۱۲)	۳۶/۸۰	۸۴/۵۷	۷۲/۸۴	۹۱/۰۱	۶۷/۹۵
۱۴	صمغ عربی: مالتودکسترین: اینولین (۵۰:۳۸:۱۲)	۳۰/۴۰	۸۲/۸۶	۷۱/۸۹	۹۱/۲۳	۶۶/۹۳
۱۵	صمغ عربی: مالتودکسترین: اینولین (۳۶:۵۰:۱۴)	۲۳/۸۰	۸۲/۷۲	۷۷/۳۱	۹۴/۱۲	۶۷/۸۶
۱۶	صمغ عربی: اینولین (۵۰:۵۰)	۵۹/۲۰	۹۱/۳۸	۸۸/۵۲	۹۱/۶۹	۶۸/۸۰

$A < 100$  (صمغ عربی)؛  $100 < B < 50$  (مالتودکسترین)؛  $50 < C < 100$  (اینولین) و  $A+B+C=100$  درصد از کل مواد دیواره

<sup>2</sup> Desirability function

<sup>1</sup> Adjusted Correlation Coefficient

غلظت مختلف سینمالدئید<sup>۱</sup>، ۸۰۱ سینئول و آلفا-تریپنیل استات در هگزان رسم شد. از نمونه هگزان نیز به عنوان شاهد برای جلوگیری از خطای جذب در دستگاه استفاده گردید.

#### تعیین مقدار ماده مؤثره داخل ریزکپسول‌ها

برای تعیین ماده مؤثره موجود در داخل ریزکپسول‌ها از روش به کار گرفته شده توسط Soottitantawat و همکاران (۲۰۰۳) استفاده شد. به این منظور، پودر حاصل که از مرحله قبل پس از شست و شو با هگزان به جامانده بود، دوباره مورد استفاده قرار گرفت. ۱ گرم از پودر به ۲۰ میلی لیتر آب مقطر در داخل لوله فالدکون منتقل و با شیکر مخصوص لوله به مدت ۱ دقیقه هم زده شد. سپس به نمونه هگزان اضافه شد و در داخل حمام بخار آب در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ دقیقه نگهداری شد. در طول این مدت هم زدن به طور متناوب انجام گرفت. سپس لوله در دمای اتاق سرد و در سانتریفیوژ با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید تا فاز آبی از فاز حلال جدا شود. در نهایت میزان جذب آن مطابق روش گفته شده در بالا اندازه گیری گردید.

#### بازده ریزپوشانی

برای تعیین بازده ریزپوشانی خارج قسمت مقدار سینمالدئید، ۸۰۱ سینئول و آلفا-تریپنیل استات ریزپوشانی شده به مقدار آن در سطح و داخل ریزکپسول‌ها مطابق رابطه (۳) محاسبه گردید:

رابطه (۳)

= بازده ریزپوشانی

مقدار ماده مؤثره اولیه / مقدار ماده مؤثره داخل ریزکپسول‌ها

#### آزادسازی ماده مؤثره

در محیط شبیه سازی شده بزاق<sup>۲</sup> درصد آزادسازی ماده مؤثره هل موجود در ریزکپسول‌ها به صورت زیر تعیین می شود. به طور خلاصه، سوسپانسیونی از ریزکپسول‌های حاوی روغن هل در یک کیسه دیالیز وارد شده و در pH ۶/۸ در محلول شبیه سازی شده بزاق در جهت تقلید شرایط فروردن قرار گرفت. کیسه داخل یک حمام ترموستاتیک در دمای ۳۷±۰/۵ درجه سانتی گراد، تحت به هم خوردن روی همزن

آزمون‌های انجام شده جهت دستیابی به ترکیبات بهینه

#### ریزکپسول‌ها

##### بازده ریزپوشانی روغن

بازده ریزپوشانی روغن بر اساس روش توصیف شده توسط Bhandari و He, Assadpoor, Jafari (۲۰۰۸) با کمی اصلاحات تعیین شد. ابتدا ۱ گرم از پودر با ۲۰ میلی لیتر هگزان در داخل لوله فالدکون مخلوط شد و برای مدت ۵ دقیقه با شیکر مخصوص لوله (مدل basic, شرکت IKA, ساخت آلمان) در دمای اتاق هم زده شد. سپس ذرات پودر با کمک کاغذ صافی شماره ۱ واتمن از حلال جدا شده و پودر جمع آوری شده سه بار با ۲۰ میلی لیتر هگزان شسته شد. سپس، حلال در دمای اتاق و پس از آن در ۶۰ درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت جدا گردید. روغن ریزپوشانی نشده (روغن سطحی) با استفاده از اختلاف جرم بین بالن تمیز اولیه و بالن حاوی پودر با روغن استخراج شده تعیین شد (Jafari et al., 2008). بازده ریزپوشانی روغن هل از رابطه (۲) به دست می آید.

رابطه (۲)

$$EE = \left( \frac{TO - SO}{TO} \right) \times 100$$

در رابطه (۲)، TO: محتوی روغن کل و SO: محتوی روغن سطحی در پودرها هستند.

#### تعیین مقدار ماده مؤثره سطحی ریزکپسول‌ها

مقدار ماده مؤثره سطحی ریزپوشانی نشده با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل 160-A, شرکت Shimadzu, ساخت ژاپن) تعیین گردید. بدین جهت ۱ گرم از پودر با ۲۰ میلی لیتر هگزان در داخل لوله فالدکون مخلوط شد و برای مدت ۵ دقیقه با شیکر مخصوص لوله در دمای اتاق به هم خورد. سپس ذرات پودر با کمک کاغذ صافی شماره ۱ واتمن از حلال جدا شد. محلول باقی مانده توسط هگزان در بالن ژوژه ۲۵ میلی لیتری به حجم رسانده شد. مقدار ۱ و ۸ سینئول و آلفا-تریپنیل استات موجود در نمونه به عنوان ترکیبات شاخص و اصلی روغن هل به ترتیب در ۲۷۰ و ۲۳۶ نانومتر اندازه گیری گردید (Krishnan et al., 2005; Soottitantawat, Yoshii, Furuta, Ohkawara, & Linko, 2003). این نواحی بیشینه طول موج جذبی ۸۰۱ سینئول و آلفا-تریپنیل استات در دامنه ۶۰۰-۲۰۰ نانومتر طیف نوری می باشند. منحنی استاندارد با استفاده از محلول‌های با

<sup>1</sup> Cinnamaldehyde

<sup>2</sup> Simulated saliva digestion

سیستم خنک‌کننده نیتروژن مایع تعیین شد. برای کالیبراسیون دما و جریان گرما از ایندیوم و روی استفاده شد و برای مرجع دستگاه و همچنین جهت اندازه‌گیری دمای انتقال شیشه‌ای نمونه‌ها از ظرف آلومینیومی ۵۰ میکرولیتری استفاده گردید. حدود ۵ میلی‌گرم از نمونه به داخل ظرف آلومینیومی منتقل شد و به شرح ذیل مورد تیمار قرار گرفتند: سرعت سرد و گرم کردن به میزان ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تنظیم گردید. دامنه دمای ارزیابی بین ۲۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد انتخاب شد. نمونه‌ها از ۲۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد، سپس در این دما به مدت ۱ دقیقه نگهداری شدند.

### نتایج و بحث

#### بهینه‌یابی فرمولاسیون دیواره

مدل درجه‌سوم برای برازش داده‌ها استفاده شد و در مورد هر پاسخ معنی‌دار بودن مدل، بی‌معنی بودن عدم‌برازش و مقدار مناسب ضریب همبستگی و ضریب تغییرات بررسی گردید. ضرایب رگرسیون، ضریب همبستگی و P-Value برای هر پاسخ در جدول (۲) نشان داده شده است. پس از احراز کفایت مدل در پیش‌بینی پاسخ‌ها از نمودارهای حاصل برای تفسیر نتایج استفاده شد (شکل ۱).

مغناطیسی در ۱۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. زمان آزمایش روی ۲ دقیقه تنظیم شد و درصد آزادسازی برای این زمان محاسبه شد. محلول شبیه‌سازی شده براق تازه با pH ۶/۸ دو بار جایگزین شد و در دمای  $37 \pm 0.5$  درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و با استفاده از اسپکتروفوتومتر (مدل 160-A، شرکت Shimadzu، ساخت ژاپن) مقدار ماده مؤثره آزاد شده از ریزکپسول‌ها تعیین شد. درصد آزادسازی ماده مؤثره با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (Asprea, 2017):

رابطه (۴)

= درصد آزادسازی ماده مؤثره موجود در ریزکپسول‌ها  
مقدار ماده مؤثره اولیه/مقدار ماده مؤثره موجود در محلول بعد از ۲ دقیقه

#### بازیابی پودر

بازیابی پودر (درصد) برای هر تیمار اندازه‌گیری شد و به‌عنوان نسبت جرمی پودر به دست‌آمده در خروجی خشک‌کن پاششی به مقدار ماده خشک اولیه در محلول خوراک به دستگاه خشک‌کن پاششی بیان شد.

#### آزمون حرارتی افتراقی (DSC<sup>۱</sup>)

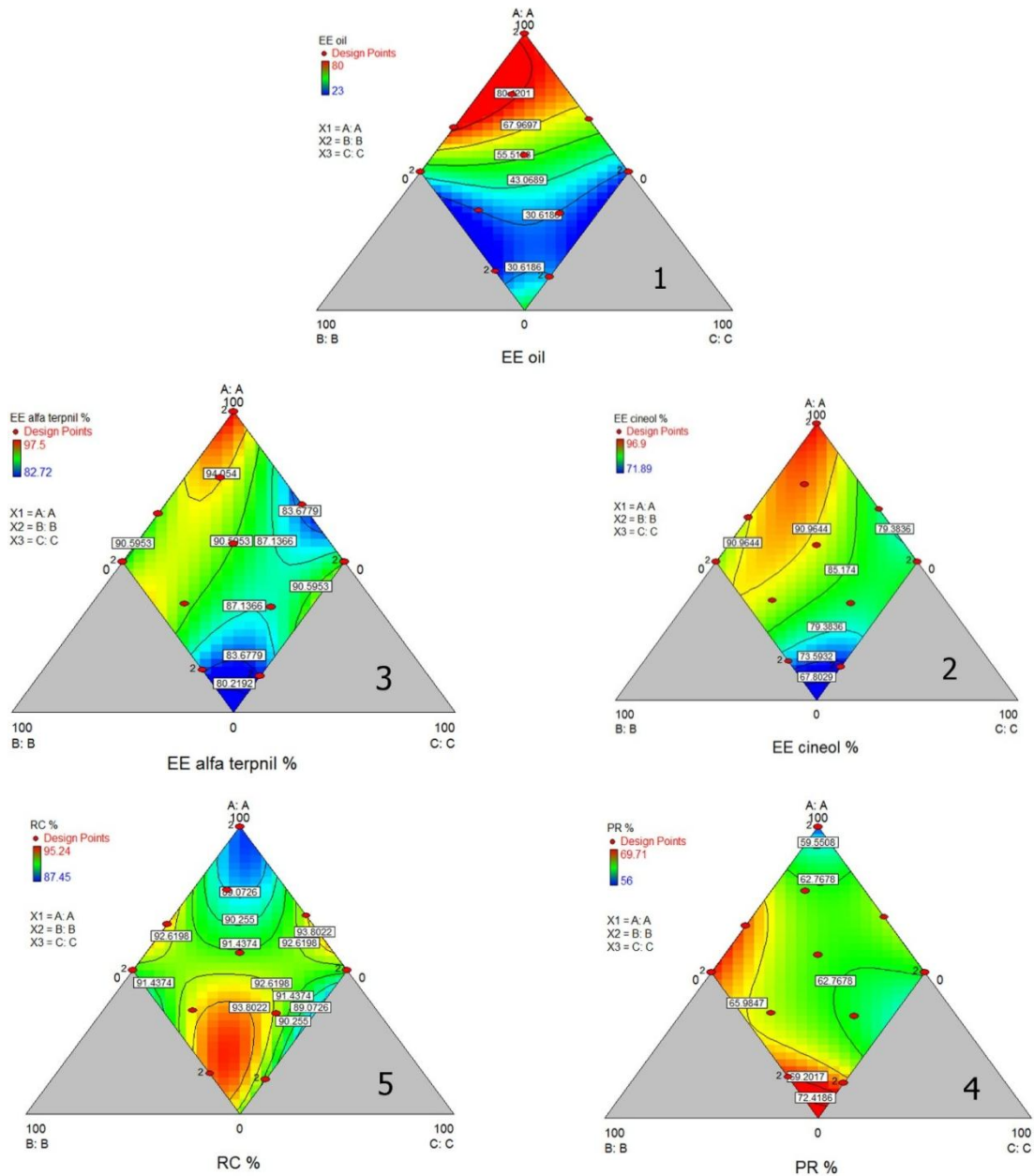
آزمون حرارتی افتراقی با استفاده از دستگاه DSC (مدل Jade، شرکت Perkin Elmer، ساخت آمریکا) مجهز به

جدول ۲- ضرایب رگرسیون، ضریب همبستگی و مقادیر P و F برای معادله‌های مورد استفاده در پیش‌بینی پاسخ‌ها

بازیابی پودر (درصد)	آزادسازی ماده مؤثره (درصد)	بازده ریزپوشانی ۸۱ سینئول (درصد)	بازده ریزپوشانی آلفا- ترپنیل استات (درصد)	بازده ریزپوشانی (درصد)	ضرایب رگرسیون
۵۶/۳۳	۸۸/۰۲	۹۶/۷۵	۹۷/۵۱	۷۵/۹۰	$\beta_1$
۵۶/۰۶	۹/۰۳	۱۱۰/۳۲	۱۳۴/۴۱	-۲۱۳/۵۳	$\beta_2$
۲۸/۸۸	-۳۲/۹۵	۲۱۹/۳۴	۲۸۴/۴۰	-۱۵۲/۴۰	$\beta_3$
۵۱/۷۹	۱۷۳/۶۱	-۶۳/۰۲	-۱۰۲/۲۵	۴۶۷/۸۴	$\beta_{12}$
۸۲/۲۱	۲۵۷/۳۴	-۳۰۴/۷۱	-۴۰۲/۲۶	۲۶۸/۹۶	$\beta_{13}$
۱۳۲/۶۵	۴۱۶/۲۲	-۴۱۱/۲۶	-۵۳۰/۵۸	۹۳۰/۳۸	$\beta_{23}$
-۳۵۴/۰۸	-۵۷۴/۹۰	۷۶۴/۷۰	۸۲۰/۲۶	-۱۵۲۰/۹۵	$\beta_{123}$
-	-۹۴/۱۵	۴۸/۲۷	۶۳/۲۲	-	$\beta_{12(1-2)}$
-	-۱۴۶/۲۰	۱۳۳/۲۶	۱۶۱/۹۶	-	$\beta_{13(1-3)}$
-	۷/۱۷	۲۳۵/۲۷	۲۵۷/۵۶	-	$\beta_{23(2-3)}$
۰/۸۹۷۲	۰/۹۶۶۱	۰/۹۹۶۰	۰/۹۷۱۶	۰/۹۳۴۵	$R^2$
۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱	مقدار P
۱۳/۰۸	۱۹/۰۲	۱۶۴/۷۱	۲۲/۷۸	۲۱/۳۹	مقدار F

<sup>1</sup> Differential Scanning Calorimetry





شکل ۱- نمودار کانتر بازده ریزپوشانی اسانس هل

(الف: بازده ریزپوشانی ۱) و ۸ سینئول، ب: آلفا-ترپنیل استات، ج: باتوجه به مدل کوپیک و بازیابی پودر، د: آزادسازی مواد مؤثره و ه: با استفاده از سه ماده مختلف دیواره شامل صمغ عربی (X1)، مالتودکسترین (X2) و اینولین (X3) باتوجه به مدل اسپیشال کوپیک)

### ریزپوشانی پودر

#### بازده ریزپوشانی اسانس هل

بازده ریزپوشانی اسانس هل از ۲۳ تا ۸۰ درصد متغیر بوده و به طور قابل توجهی تحت تأثیر فرمولاسیون مواد دیواره قرار دارد. بیشترین بازده ریزپوشانی با مقدار ۸۰ درصد متعلق به تیمار ۶ بوده که از صمغ عربی، مالتودکسترین و اینولین با نسبت‌های به ترتیب ۸:۱۴:۷۸ به عنوان دیواره استفاده شده بود. همچنین کمترین بازده ریزپوشانی با مقدار ۲۳ درصد نیز مربوط به تیمار ۱۲ بود که حاوی

صمغ عربی، مالتودکسترین و اینولین با نسبت‌های به ترتیب ۱۴:۵۰:۳۶ است.

همان‌طور که در **جدول (۲)** نشان داده شده است، صمغ عربی دارای بیشترین تأثیر معنی‌دار بر بازده ریزپوشانی نسبت به هر دو مالتودکسترین و اینولین است. اثر متقابل مثبت مالتودکسترین با اینولین (**جدول ۲**) در مدل اسپیشال کوپیک<sup>۱</sup> بر بازده ریزپوشانی نشان‌دهنده اثر سینرژیستی این دو جزء بود. لذا با بهینه‌یابی مقادیر

<sup>۱</sup> Special Cubic

حاصل از این تحقیق برای ترکیب منفرد صمغ عربی کاملاً مشابه بوده اما برای ترکیب صمغ عربی و اینولین همخوانی ندارد که این احتمالاً به دلیل درصدهای متفاوت استفاده شده از این ترکیبات در تحقیق Fernandes و همکاران (۲۰۱۶) برای صمغ عربی و اینولین (۵۰:۵۰) و در تحقیق حاضر (۳۴:۶۶) است.

**بازده ریزپوشانی ۸۱ سینئول و آلفا-ترپنیل استات**  
نتایج آزمایش‌ها نشان داد که بازده ریزپوشانی ۱ و ۸ سینئول در نسبت‌های مختلف ترکیبات دیواره در محدوده ۷۱ تا ۹۶ درصد متغیر است و به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر ماده تشکیل‌دهنده دیواره قرار دارد (جدول ۱). بیشترین مقدار بازده ریزپوشانی ۱ و ۸ سینئول به مقدار ۹۶/۹ درصد مربوط به تیمار ۹ (صمغ عربی خالص) و کمترین آن (۷۱/۸۹ درصد) مربوط به تیمار ۱۴ (ترکیب صمغ عربی: مالتودکسترین: اینولین با نسبت ۱۲:۳۸:۵۰) به‌دست آمد. شکل (۱-ب) اثر ترکیب دیواره را روی بازده ریزپوشانی ۱ و ۸ سینئول پودرهای ریزپوشانی‌شده نشان می‌دهد.

براساس نتایج به‌دست‌آمده بازده ریزپوشانی آلفا-ترپنیل استات در نسبت‌های مختلف ترکیبات دیواره در محدوده ۸۲ تا ۹۷ درصد متغیر است و تحت‌تأثیر ماده تشکیل‌دهنده دیواره قرار دارد (جدول ۱). بیشترین مقدار بازده ریزپوشانی آلفا-ترپنیل استات (۹۷/۵ درصد) مربوط به تیمار ۹ (صمغ عربی به تنهایی) به‌دست آمد. حداقل مقدار بازده ریزپوشانی آلفا-ترپنیل استات به میزان ۸۲/۷۲ درصد مربوط به تیمار ۱۵ (ترکیب صمغ عربی: مالتودکسترین: اینولین با نسبت ۱۴:۵۰:۳۶) به‌دست آمد. شکل (۱-ج) اثر ترکیب دیواره را روی بازده ریزپوشانی آلفا-ترپنیل استات پودرهای خشک‌شده نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، اینولین تأثیر معنی‌داری روی پاسخ بازده ریزپوشانی ۸۱ سینئول و آلفا-ترپنیل استات داشت اما صمغ عربی و مالتودکسترین تأثیر معنی‌داری روی بازده ریزپوشانی ۸۱ سینئول و آلفا-ترپنیل استات نداشتند. اثرات متقابل دوتایی مثبت برای ترکیبات دیواره، در این مدل (مدل کوپیک) برای بازده ریزپوشانی ۸۱ سینئول و آلفا-ترپنیل استات مشاهده نشد. با این حال باتوجه‌به اینکه ضریب اثرات

این دو ترکیب، می‌توان بازده ریزپوشانی را افزایش داد. باتوجه‌به بررسی اثرات متقابل مشاهده‌شده در مدل بهینه بر بازده ریزپوشانی، می‌توان دریافت که بیشترین اثر آنتاگونیستی با ترکیب سه‌گانه دیواره‌ها حاصل می‌شود (Anarjan et al., 2017).

مقایسه بین اثرات متقابل دوگانه بر بازده ریزپوشانی نشان داد که برهم‌کنش بین مالتودکسترین و اینولین اثر بیشتری نسبت به سایر اثرات متقابل دوگانه دارد. از طرفی از جدول آنالیز واریانس (جدول ۲) می‌توان دریافت که اثر متقابل سه‌تایی به دلیل اینکه اثر آنتاگونیستی دارد و کمترین ضریب را به خود اختصاص می‌دهد لذا پایین‌ترین تأثیر را بر بازده ریزپوشانی داشته است. به‌طور واضح این اثرات را می‌توان در نمودار کانتر مربوطه (شکل ۱-الف) مشاهده نمود.

همچنین نتایج نشان داد که با استفاده از دیواره صمغ عربی (تیمارهای ۷ و ۹)، مخلوط صمغ عربی و اینولین (تیمارهای ۱۰) و مخلوط صمغ عربی، مالتودکسترین و اینولین (تیمار ۶)، می‌توان افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در بازده ریزپوشانی ایجاد کرد (شکل ۱-الف).

Lebert و Noleau, Richard, Dumoulin, Bhandari (۱۹۹۲) دریافتند که بازده ریزپوشانی در پودرها در ترکیبی که از صمغ عربی به تنهایی استفاده شد، افزایش یافته است که این نتایج مشابه نتایج گزارش‌شده برای این مطالعه بود. این محققین این مشاهده را به خواص تشکیل فیلم بهتر و بهبود پایداری امولسیون صمغ عربی نسبت دادند. باید توجه داشت که خواص تشکیل فیلم و امولسیون‌کنندگی صمغ عربی در ریزپوشانی بسیار حائز اهمیت است و از اثرات مفید آن در این زمینه نمی‌توان چشم‌پوشی نمود. ترکیب دوتایی از صمغ عربی و اینولین (تیمارهای ۳ و ۸) دارای حداقل بازده ریزپوشانی بود، که موضوع در نتایج سایر محققین نیز به چشم می‌خورد. Fernandes, Botrel و Borges (۲۰۱۴) روغن رُزماری را توسط روش خشک‌کردن پاششی و با استفاده از دیواره‌های صمغ عربی، مالتودکسترین، اینولین و نشاسته اصلاح‌شده ریزپوشانی کردند. مقادیر بازده ریزپوشانی در این مطالعه بین ۲۶/۳۱ تا ۶۱/۸۱ درصد بود. در این مطالعه، تیمار صمغ عربی با اینولین کمترین اثر و تیمار صمغ عربی به‌صورت دیواره منفرد اثر خوبی بر بازده ریزپوشانی اسانس رُزماری داشت. این نتیجه با نتایج



ذرات به یکدیگر و به دیواره‌های خشک‌کن و کشیده شدن محصول به داخل جریان خلأ است. Datta, Bhandari و Howes (۱۹۹۷) گزارش کردند که بازیابی پودر بیش از ۵۰ درصد، نشان‌دهنده فرایند خشک کردن موفق تولید در مقیاس آزمایشگاهی است.

در این تحقیق مقدار بازیابی پودر ریزپوشانی شده حاوی اسانس هل بین ۵۶ تا ۶۹/۷۱ درصد (تیمارهای ۷ و ۴) متغیر است که در **جدول (۱)** نشان داده شده است. اثر ترکیب دیواره‌ها در بازیابی پودرهای خشک‌شده در **شکل (۱-د)**، نشان داده شده است. باتوجه به **شکل (۱-د)**، افزایش مقدار مالتودکسترین و اینولین منجر به افزایش بازیابی پودر می‌شود درحالی‌که با افزایش مقدار صمغ عربی بازیابی پودر کاهش می‌یابد.

تجزیه و تحلیل رگرسیون نشان داد، داده‌های بازیابی پودر به خوبی با مدل اسپیشیال کوبیک (**جدول ۲**) می‌تواند برازش گردد ( $R^2=0/۸۹$ ). **شکل (۱-د)** نشان می‌دهد که بازیابی پودر بالاتر در مقادیر بالاتری از مالتودکسترین و اینولین در ترکیب دوتایی از مواد دیواره به دست می‌آید، درحالی‌که افزایش نسبت صمغ عربی منجر به کاهش بازیابی پودر می‌شود. همان‌طور که در **جدول (۲)** نشان داده شده است، مالتودکسترین تأثیر معنی‌داری بر پاسخ بازیابی پودر نسبت به هر دو صمغ عربی و اینولین دارد. اثرات دوتایی مثبت مالتودکسترین با اینولین (**جدول ۲**) در مدل اسپیشیال کوبیک برای بازیابی پودر نشان داد که این دو ترکیب به صورت سینرژیست عمل کرده و استفاده از این دو ترکیب بازیابی پودر را افزایش می‌دهد. باتوجه به مدل برازش‌یافته برای بازیابی پودر، تنها ضریب منفی که قوی‌ترین اثر آنتاگونیستی را دارد توسط ترکیب سه‌گانه از ترکیبات دیواره ایجاد شده است.

ترکیباتی که در آنها نسبت‌های بالاتری از مالتودکسترین و اینولین استفاده شد دارای بازیابی پودر بیشتری نسبت به ترکیباتی بودند که صمغ عربی بیشتری در دیواره آنها به کار برده شده است. احتمالاً این نتایج مربوط به رسوب کمتر مواد جامد در دیواره‌های خشک‌کن در طی خشک کردن پاششی می‌باشد. همچنین باتوجه به نقش و عملکرد مالتودکسترین به عنوان کمک خشک‌کن با افزایش دادن دمای انتقال شیشه‌ای کل مخلوط و ایجاد لایه و فیلم نازک در اطراف ذرات تولیدشده، موجب کاهش چسبیدن ذرات از طریق تشکیل پل‌های مایع

متقابل دوتایی برای بازده ریزپوشانی ۸۱ و سینئول و آلفا-ترپنیل استات، منفی به دست آمده است، لذا ترکیبات دوتایی دیواره بر بازده ریزپوشانی ۸۱ سینئول و آلفا-ترپنیل استات اثر آنتاگونیستی داشته است. باتوجه به اینکه ضریب اثر متقابل سه‌گانه دیواره‌ها در مدل بهینه، مقادیر بالا و مثبت دارد لذا می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین اثر سینرژیستی در مورد بازده ریزپوشانی ۸۱ سینئول و آلفا-ترپنیل استات می‌تواند توسط ترکیبات سه‌گانه دیواره‌ها ایجاد شود.

در **شکل‌های (۱-ب)** و **(۱-ج)** تأثیر ترکیبات دیواره به ترتیب بر بازده ریزپوشانی ۸۱ سینئول و آلفا-ترپنیل استات نشان داده شده است. به‌طور کلی استفاده از سه جزء دیواره باعث بالارفتن بازده ریزپوشانی ۸۱ سینئول و آلفا-ترپنیل استات در بسیاری از تیمارها شده است.

مقادیر بازده ریزپوشانی ماده مؤثره حاصل از این تحقیق شباهت زیادی با آنچه دیگر محققان گزارش کرده‌اند، می‌باشد. به عنوان مثال de Barros Fernandes و همکاران (۲۰۱۶) ریزپوشانی روغن زنجبیل با خشک کردن پاششی را با استفاده از دیواره‌های صمغ عربی، مالتودکسترین و اینولین مورد مطالعه قرار داده است و مقادیر بازده ریزپوشانی ماده مؤثره را بین ۴۸ تا ۹۳ درصد گزارش نموده است. نتایج مطالعه‌های این محققان نشان داد که تیمار صمغ عربی با اینولین روی بازده ریزپوشانی ماده مؤثره زنجبیل چندان مؤثر نیست درحالی‌که صمغ عربی خالص شبکه مؤثرتری را برای حفظ ماده مؤثره زنجبیل مهیا می‌کند (de Barros Fernandes et al., 2016).

Krishnan و همکاران (۲۰۰۵) جهت ریزپوشانی اسانس هل از صمغ عربی و نشاسته اصلاح‌شده به عنوان دیواره استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که در ترکیب‌هایی که نسبت صمغ عربی به نشاسته اصلاح‌شده بیشتر است مقدار بازده ریزپوشانی مواد مؤثره اسانس هل افزایش می‌یابد که مشابه نتایج تحقیق حاضر می‌باشد (Krishnan et al., 2005).

#### بازیابی پودر

بازیابی پودر از طریق تعیین نسبت مقدار پودر به دست‌آمده و مقدار خوراک ورودی به خشک‌کن محاسبه گردید. بازده پایین بازیابی پودر در آزمایشگاه احتمالاً ناشی از چسبیدن

نسبت به سایر ترکیبات دوتایی افزایش دهد. ضریب منفی بالا برای ترکیبات با سه دیواره نشان داد که قوی‌ترین اثر آنتاگونیست می‌تواند توسط ترکیب سه‌تایی دیواره‌ها برای آزادسازی ماده مؤثره ایجاد شود. باین‌وجود ترکیبات سه‌تایی دیواره آزادسازی کمتری نشان دادند. اثر ترکیب دیواره‌ها در پودر ریزپوشانی‌شده در شکل (۱-ه) نشان داده شده است.

Bakhoda و Ehsani, Mohammadi (۲۰۱۸) با بررسی رهایش کافئین ریزپوشانی‌شده در دیواره‌های مختلف در محیط شبیه‌سازی‌شده دهان بیان کردند که دیواره آلژینات به تنهایی برای رهایش سریع و ترکیب آلژینات با دیواره‌های دیگر برای رهایش کند در محیط شبیه‌سازی‌شده دهان مفید می‌باشد، به‌طوری‌که حدود ۸۰ درصد کافئین ریزپوشانی‌شده طی ۱۰ دقیقه از ریزکپسول‌های آلژینات رهایش یافتند. Mohebbi, Zandi, Ramezani و Varidi (۲۰۱۴) با مطالعه روی ریزکپسول‌های تهیه‌شده با آلژینات-پروتئین آب‌پنیر حاوی دی‌استیل<sup>۱</sup> نشان دادند که در تنش‌های برشی صفر، ۵۰ و ۱۰۰ s<sup>-1</sup> بعد از ۱۵ دقیقه به ترتیب ۷۰/۹، ۹۰/۲ و ۹۷/۵ درصد از دی‌استیل از دیواره‌ها در محیط شبیه‌سازی‌شده دهان آزاد می‌شود.

#### بهینه‌سازی عددی

برای بهینه‌یابی دیواره ریزکپسول‌ها، تمام متغیرها در دامنه موردبررسی و بازده ریزپوشانی کلی و ترکیبات مؤثره و همچنین بازیابی پودر و رهایش ترکیبات به‌صورت پیشینه در نظر گرفته شد.

جهت اطمینان از ترکیب بهینه با نسبت‌های پیش‌بینی‌شده، تست تأییدی انجام پذیرفت. نتایج حاصل از داده‌های تجربی (جدول ۳) با نتایج پیش‌بینی‌شده توسط مدل مقایسه شد و مورد تأیید قرار گرفت.

به‌یکدیگر و همچنین کاهش چسبیدن ذرات به دیواره خشک‌کن شود (Papadakis, Gardeli, & Tzia, 2006; Quek, Chok, & Swedlund, 2007).

#### آزادسازی ماده مؤثره

باتوجه به اهمیت رهایش ترکیبات مولد عطر و طعم در داخل دهان، آزادسازی ماده مؤثره در محیط شبیه‌سازی‌شده دهان با استفاده از روش آزادسازی کیسه دیالیز بررسی شد. این مطالعه نشان داد که بعد از ۲ دقیقه، حدود ۸۷/۴۵ تا ۹۵/۲۴ درصد مواد مؤثره به ترتیب برای تیمارهای ۷ و ۱۲ آزاد شدند (جدول ۱). نتایج نشان داد در تیمارهایی که صمغ عربی کاهش می‌یابد، آزادسازی ماده مؤثره افزایش می‌یابد و با افزایش صمغ عربی آزادسازی کاهش می‌یابد (تیمارهای ۷ و ۹) درحالی‌که با افزایش مالتودکسترین در تیمارهای دوتایی و سه‌تایی آزادسازی ماده مؤثره افزایش یافته است. باتوجه به نتایج و خواص صمغ عربی در تشکیل امولسیون پایدار (Dickinson, 2003) و امولسیفایری (Gibbs, 1999; Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley, & Saurel, 2007; Gouin, 2004) می‌توان چنین نتیجه گرفت که صمغ عربی در محیط بزاق (آبی) امولسیون پایدارتری را نسبت به مالتودکسترین و اینولین ایجاد می‌کند و باعث خروج کمتر ماده مؤثره از این دیواره‌ها می‌شود که با نتایج حاصل در این تحقیق مطابقت دارد.

همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، صمغ عربی دارای بیشترین تأثیر روی آزادسازی ماده مؤثره است. اثرات دوگانه مثبت‌تر ترکیب دوتایی مالتودکسترین با اینولین نسبت به ترکیب صمغ عربی با مالتودکسترین و اینولین در مدل پیشنهادشده برای رهایش ماده مؤثره دیده می‌شود، بنابراین ترکیب دوتایی مالتودکسترین با اینولین می‌تواند آزادسازی ماده مؤثره را

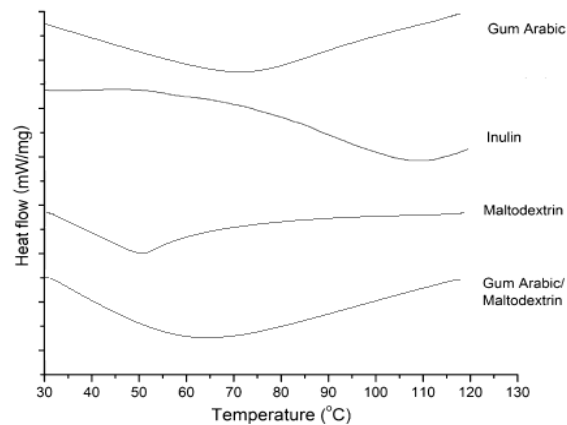
جدول ۳- نتایج پاسخ‌های پیش‌بینی‌شده (۱) و آزمایشگاهی (۲)

ترکیب بهینه	صمغ عربی	مالتودکسترین	اینولین	بازده ریزپوشانی		بازده ریزپوشانی ۱ و ۸ سینتول (درصد)	آزادسازی ماده مؤثره (درصد)	بازیابی پودر (درصد)	مطلوبیت
				بازده	بازده ریزپوشانی				
۱	۶۶/۸۰۹	۳۳/۱۹۱	۰/۰۰۰	۸۳/۵۷۷۵	۹۱/۷۹۸۹	۹۰/۸۷۹۶	۹۳/۲۷۸۶	۶۷/۷۲۸۵	۰/۷۸۵
۲	۶۶/۸۰۹	۳۳/۱۹۱	۰/۰۰۰	۷۵/۱۶	۹۱/۰۲	۹۰/۷۶	۹۳/۱۱	۶۶/۳۲	-

<sup>۱</sup> Diacetyl

## بررسی آزمون حرارتی افتراقی (DSC)

در بالای دمای انتقال شیشه‌ای، احتمال رهائش و خروج مواد هسته به خارج از مواد دیواره وجود دارد (Beristain, 2002; Azuara, & Vernon-Carter, 2002). همچنین هر شرایطی که باعث ایجاد شکل بلوری در ساختار پلیمرها شود، موجب تسریع رهائش و ازدست‌رفتن ماده هسته می‌گردد. در برخی از پلیمرها، در دمای بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای، امکان قرارگیری مولکول‌ها در کنار یکدیگر و ایجاد نواحی کریستالی موضعی زیاد است. در این شرایط مولکول‌های ماده هسته به قسمت‌های بی‌شکل و در نهایت به سطح پلیمر رانده شده و نتیجه آن رهائش و ازدست‌رفتن ماده ریزپوشانی شده از درون ریزکپسول‌ها می‌باشد (Biliaderis, Lazaridou, & Arvanitoyannis, 1999). ترموگرام ترکیب بهینه اسانس هل ریزپوشانی شده توسط صمغ عربی، مالتودکسترین و اینولین با نسبت ۰/۰۰۰:۳۳/۱۹۱:۶۶/۸۰۹ از مواد دیواره و ترکیبات دیواره به صورت منفرد (صمغ عربی، مالتودکسترین و اینولین) در شکل (۲) نشان داده شده است. با مشاهده ترموگرام ترکیب بهینه، می‌توان پیک مشخصی را در دمای ۶۳/۸ درجه سانتی‌گراد برای این ترکیب مشاهده نمود، که مربوط به نقطه ذوب آن می‌باشد.



شکل ۲- ترموگرام DSC ترکیب بهینه اسانس هل

مولکولی، ساختار شیمیایی و محتوی رطوبت تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Bhesh R Bhandari & Hartel, 2005). دمای انتقال شیشه‌ای از نقطه میانی طیف‌گذار شیشه‌ای به دست آمد. منحنی‌های DSC موجود در شکل (۲) نشان می‌دهد که دمای انتقال شیشه‌ای برای صمغ عربی، مالتودکسترین، اینولین و ترکیب بهینه به ترتیب برابر با ۶۰/۶، ۴۰/۴، ۱۰۰/۴ و ۴۲/۹ درجه سانتی‌گراد است. نتایج Fernandes و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که دمای انتقال شیشه‌ای صمغ عربی و ترکیب صمغ عربی با مالتودکسترین به ترتیب برابر با ۹۹/۶ و ۸۶/۴ درجه سانتی‌گراد بود. این نتایج نشان داد که ترکیب کردن مالتودکسترین با صمغ عربی، دمای انتقال شیشه‌ای آن را پایین می‌آورد. دمای انتقال شیشه‌ای به مقدار زیادی به جرم مولی ترکیبات دیواره وابسته است (Truong, 2005; Bhandari, & Howes, 2005). صمغ عربی جرم مولی (۴۷۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰۰۰ گرم بر مول) بیشتری نسبت به مالتودکسترین (۱۸۰۰ گرم بر مول) دارد و به این دلیل افزودن مالتودکسترین سبب کاهش دمای انتقال شیشه‌ای ترکیب بهینه شده است. Emam-Djomeh, Yousefi, و Mousavi (۲۰۱۱) بیان کردند که مالتودکسترین با درجه پلیمریزاسیون ۲۰ و صمغ عربی به ترتیب دمای انتقال شیشه‌ای برابر با ۴۰ و ۵۲ درجه سانتی‌گراد است که مشابه با نتایج ما برای دمای انتقال شیشه‌ای بود. دمای انتقال شیشه‌ای ترکیب بهینه از دمای محیط بیشتر است که حاکی از آن است که ریزکپسول تهیه شده با صمغ عربی، مالتودکسترین و اینولین به ترتیب با نسبت‌های ۰/۰:۳۳/۲:۶۶/۸ در دمای محیط به دمای انتقال شیشه‌ای نمی‌رسد و حالت لاستیکی و نرم نخواهد گرفت. همچنین دمای انتقال شیشه‌ای به گونه‌ای می‌باشد که در دمای محیط ماده مؤثره داخل ریزکپسول را حفظ و به محض ورود به محیط دهان، همراه با عمل جویدن دیواره نرم شده و مواد مؤثره داخل کپسول‌ها به راحتی رهائش پیدا می‌کند (Overbosch, Afterof, & Haring, 1991).

بررسی تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)<sup>۱</sup> تصویر ذرات ریزکپسول که با میکروسکوپ الکترونی تهیه شدند ویژگی‌های سطحی ظاهری و اثر ترکیبات دیواره بر ریزساختار ذرات را به خوبی نشان می‌دهد. تصویر الکترونی

برای همه پلیمرها دمایی به نام دمای انتقال شیشه‌ای تعریف می‌شود. دمای انتقال شیشه‌ای، دمای آغاز حرکت‌های مولکولی در پلیمر است و این بدان معناست که در دماهای پایین‌تر از این دما مولکول‌های ماده قابلیت حرکت نداشته و بنابراین ماده مانند شیشه سخت است. دمای انتقال شیشه‌ای توسط چندین فاکتور شامل وزن

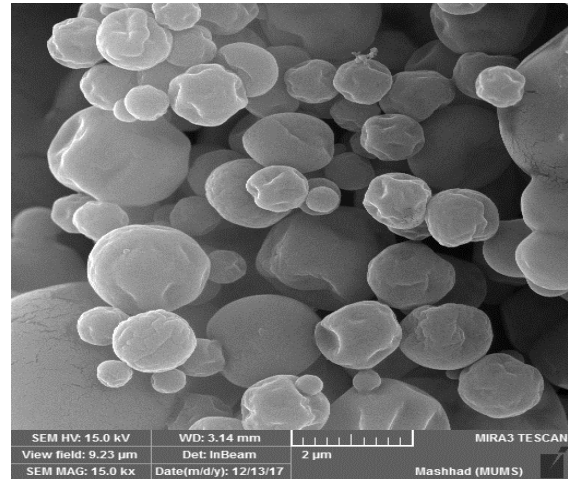
<sup>۱</sup> Scanning Electron Microscope

دنداندار را در ریزکپسول‌های گرد تهیه‌شده مشاهده کردند. علت دنداندارشدن سطوح ریزکپسول‌ها، چروکیدگی آنها طی خشک‌شدن در محفظه خشک‌کن پاششی در اثر تبخیر سریع آب موجود در امولسیون می‌باشد که باتوجه به نوع ترکیب دیواره میزان این چروکیدگی متفاوت است (Rosenberg, Kopelman, & Talmon, 1990).

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که می‌توان دیواره‌های انتخاب‌شده را به‌طور مؤثری برای تولید امولسیون‌های اسانس هل جهت حصول حداکثر بازده ریزپوشانی اسانس هل و ترکیبات مؤثره این اسانس شامل آلفا-ترپنیل استات و ۸۱ سینئول، حداکثر رهایش مواد مؤثره در محیط شبیه‌سازی‌شده دهان و همچنین حداکثر بازیابی پودر استفاده نمود. طراحی مخلوط یک تکنیک مفید برای بهینه‌سازی نسبت اجزای دیواره است تا میکروکپسول‌های اسانس هل با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی موردنظر به‌دست آیند. مقادیر تجربی نیز با مقادیر پیش‌بینی‌شده تأییدشده توسط نرم‌افزار درمورد مناسب بودن مدل‌های پیشنهادشده کاملاً مطابقت داشت. بررسی تصویر الکترونی نمونه بهینه نشان داد که این نمونه دارای شکل کروی و با ترک‌خوردگی کم می‌باشد.

ریزکپسول تهیه‌شده با ترکیب بهینه (صمغ عربی و مالتودکسترین) در شکل (۳)، که حاصل افزودن مالتودکسترین به صمغ عربی است را نشان می‌دهد.



شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ترکیب با دیواره بهینه

شکل (۳) نشان‌دهنده سطحی دنداندار در ریزکپسول‌های تهیه‌شده با صمغ عربی و مالتودکسترین بود. این ریزکپسول‌ها تقریباً کروی بوده و ترک و شکاف اندکی در آنها دیده می‌شود. ویژگی‌های مشاهده‌شده در این تحقیق همچون مشاهده‌های ارائه‌شده توسط Nunes و Cavalheiro (۲۰۰۷) بود که لیکوپن را با صمغ عربی و به روش خشک‌کن پاششی ریزپوشانی کرده و سطحی

### منابع

- آفاق‌هایده، و. (۱۳۸۳). گیاهان ادویه‌ای (چاپ اول): مؤسسه شقایق روستا تهران.
- شریعت‌هادی، ص. (۱۳۶۸). تجزیه و شناسایی مواد دارویی گیاهی (چاپ اول): مؤسسه انتشارات مشعل اصفهان.
- Afagh Hayedeh, V. (2005). *Spicy herbs* (Vol. First turn): Shaghayegh Institute of Tehran Village. (in Persian)
- Anarjan, N., Fahimdanesh, M., & Jafarizadeh-Malmiri, H. (2017).  $\beta$ -Carotene nanodispersions synthesis by three-component stabilizer system using mixture design. *Journal of food science and technology*, 54(11), 3731-3736. doi:<https://doi.org/10.1007/s13197-017-2764-8>
- Apintanapong, M., & Noomhorm, A. (2003). The use of spray drying to microencapsulate 2-acetyl-1-pyrroline, a major flavour component of aromatic rice. *International journal of food science & technology*, 38(2), 95-102. doi:<https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2003.00649.x>
- Asprea, M., Leto, I., Bergonzi, M. C. & Bilia, A. R. (2017). Thyme essential oil loaded in nanocochleates: Encapsulation efficiency, in vitro release study and antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 77, 497-502. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.006>

- Bakowska-Barczak, A. M., & Kolodziejczyk, P. P. (2011). Black currant polyphenols: Their storage stability and microencapsulation. *Industrial crops and products*, 34(2), 1301-1309. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.002>
- Beristain, C., Azuara, E., & Vernon-Carter, E. (2002). Effect of water activity on the stability to oxidation of spray-dried encapsulated orange peel oil using mesquite gum (*Prosopis juliflora*) as wall material. *Journal of Food Science*, 67(1), 206-211. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11385.x>
- Bhandari, B. R., Datta, N., & Howes, T. (1997). Problems Associated With Spray Drying Of Sugar-Rich Foods. *Drying Technology*, 15(2), 671-684. doi:<https://doi.org/10.1080/07373939708917253>
- Bhandari, B. R., Dumoulin, E. D., Richard, H. M. J., Noleau, I., & Lebert, A. M. (1992). Flavor Encapsulation by Spray Drying: Application to Citral and Linalyl Acetate. *Journal of Food Science*, 57(1), 217-221. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05459.x>
- Bhandari, B. R., & Hartel, R. W. (2005). Phase transitions during food powder production and powder stability *Encapsulated and powdered foods* (pp. 273-304): CRC Press.
- Biliaderis, C., Lazaridou, A., & Arvanitoyannis, I. (1999). Glass transition and physical properties of polyol-plasticised pullulan–starch blends at low moisture. *Carbohydrate polymers*, 40(1), 29-47. doi:[https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(99\)00026-0](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(99)00026-0)
- Chiu, C., & Moss, C. F. (2007). The role of the external ear in vertical sound localization in the free flying bat, *Eptesicus fuscus*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(4). doi:<https://doi.org/10.1121/1.2434760>
- de Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., Silva, E. K., da Silva, Y. F., de Souza, H. J. B., do Carmo, E. L., . . . Botrel, D. A. (2016). Study of ultrasound-assisted emulsions on microencapsulation of ginger essential oil by spray drying. *Industrial crops and products*, 94, 413-423. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.010>
- Dickinson, E. (2003). Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food hydrocolloids*, 17(1), 25-39. doi:[https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00120-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00120-5)
- F. Gibbs, S. K., Intezar Alli, Catherine N. Mulligan, Bernard. (1999). Encapsulation in the food industry: a review. *International journal of food sciences and nutrition*, 50(3), 213-224 .
- Fernandes, R. V. d. B., Borges, S. V., & Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate polymers*, 101, 524-532. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.083>
- Fernandes, R. V. d. B., Borges, S. V., Silva, E. K., da Silva, Y. F., de Souza, H. J. B., do Carmo, E. L., . . . Botrel, D. A. (2016). Study of ultrasound-assisted emulsions on microencapsulation of ginger essential oil by spray drying. *Industrial crops and products*, 94, 413-423. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.010>
- Frascareli, E., Silva, V., Tonon, R., & Hubinger, M. (2012). Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and bioproducts processing*, 90(3), 413-424. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.12.002>
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>
- Goubet, I., Le Quere, J.-L., & Voilley, A. (1998). Retention of aroma compounds by carbohydrates: influence of their physicochemical characteristics and of their physical state. A review. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46(5), 1981-1990. doi:<https://doi.org/10.1021/jf970709y>
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in food science & technology*, 15(7-8), 330-347. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.005>
- Imagi, J., Muraya, K., Yamashita, D., Adachi, S., & Matsuno, R. (1992). Retarded oxidation of liquid lipids entrapped in matrixes of saccharides or proteins. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 56(8), 1236-1240. doi:<https://doi.org/10.1271/bbb.56.1236>
- Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y., & Bhandari, B. (2008). Encapsulation Efficiency of Food Flavours and Oils during Spray Drying. *Drying Technology*, 26(7), 816-835. doi:<https://doi.org/10.1080/07373930802135972>



- Jafari, S. M., He, Y., & Bhandari, B. (2007). Effectiveness of encapsulating biopolymers to produce sub-micron emulsions by high energy emulsification techniques. *Food Research International*, 40, 862-873. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.02.002>
- Krishnan, S., Bhosale, R., & Singhal, R. S. (2005). Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate polymers*, 61(1), 95-102. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.02.020>
- Kubo, I., Himejima, M. & Muroi, H. (1991). Antimicrobial activity of flavor components of cardamom *Elettaria cardamomum* (Zingiberaceae) seed. *Journal of agricultural and food chemistry*, 39(11), 1984-1986. doi:<https://doi.org/10.1021/jf00011a020>
- Lee, D., Hwang, S., Park, J., & Park, H. (2003). Preparation and release characteristics of polymer-coated and blended alginate microspheres. *Journal of Microencapsulation*, 20(2), 179-192. doi:<https://doi.org/10.3109/02652040309178060>
- Lee, K. Y., Park, W. H., & Ha, W. S. (1997). Polyelectrolyte complexes of sodium alginate with chitosan or its derivatives for microcapsules. *Journal of Applied Polymer Science*, 63(4), 425-432. doi:[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19970124\)63:4<425::AID-APP3>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19970124)63:4<425::AID-APP3>3.0.CO;2-T)
- Minemoto, Y., Adachi, S., & Matsuno, R. (1999). Autoxidation of linoleic acid encapsulated with polysaccharides of differing weight ratio. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 63(5), 866-869. doi:<https://doi.org/10.1271/bbb.63.866>
- Mohammadi, N., Ehsani, M. R., & Bakhoda, H. (2018). Design and Evaluation of the Release Characteristics of Caffeine-Loaded Microcapsules in a Medicated Chewing Gum Formulation. *Food Biophysics*, 13(3), 240-249. doi:<https://doi.org/10.1007/s11483-018-9530-y>
- Najafi Najaf, M., Mortazavi, S. A., Koocheki, A., Khorami, J., & Rekik, B. (2009). Fat and protein contents, acidity and somatic cell counts in bulk milk of Holstein cows in the Khorasan Razavi Province, Iran. *International Journal of Dairy Technology*, 62(1), 19-26. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2008.00451.x>
- Nunes, R. S., & Cavalheiro, É. T. G. (2007). Thermal behavior of glutamic acid and its sodium, lithium and ammonium salts. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 87(3), 627-630. doi:<https://doi.org/10.1007/s10973-006-7788-7>
- Overbosch, P., Afterof, W., & Haring, P. (1991). Flavor release in the mouth. *Food reviews international*, 7(2), 137-184. doi:<https://doi.org/10.1080/87559129109540906>
- Papadakis, S. E., Gardeli, C., & Tzia, C. (2006). Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology*, 24(2), 173-180. doi:<https://doi.org/10.1080/07373930600559019>
- Patel, R., Patel, M., & Suthar, A. (2009). Spray drying technology: an overview. *Indian Journal of Science and Technology*, 2(10), 44-47 .
- Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020>
- Reineccius, G. A. (1995). Controlled release techniques in the food industry: ACS Publications.
- Robert, P., García, P., Reyes, N., Chávez, J., & Santos, J. (2012). Acetylated starch and inulin as encapsulating agents of gallic acid and their release behaviour in a hydrophilic system. *Food chemistry*, 134(1), 1-8 doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.019>
- Rosenberg, M., Kopelman, I., & Talmon, Y. (1990). Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *Journal of agricultural and food chemistry*, 38(5), 1288-1294. doi:<https://doi.org/10.1021/jf00095a030>
- Shahidi, F., & Han, X. Q. (1993). Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 33(6), 501-547. doi:<https://doi.org/10.1080/10408399309527645>



- Shariat Hadi, S. (1990). *Analysis and identification of herbal medicines* (Vol. First Edition): Isfahan Mashal Publishing Institute. (in Persian)
- Shiga, H., Yoshii, H., Nishiyama, T., Furuta, T., Forssele, P., Poutanen, K., & Linko, P. (2001). Flavor encapsulation and release characteristics of spray-dried powder by the blended encapsulant of cyclodextrin and gum arabic. *Drying Technology*, 19(7), 1385-1395. doi:<https://doi.org/10.1081/DRT-100105295>
- Soottitantawat, A., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M., & Linko, P. (2003). Microencapsulation by spray drying: influence of emulsion size on the retention of volatile compounds. *Journal of Food Science*, 68(7), 2256-2262. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05756.x>
- Truong, V., Bhandari, B. R., & Howes, T. (2005). Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I—Moisture and glass transition temperature profile during drying. *Journal of Food Engineering*, 71(1), 55-65. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.017>
- Yoshii, H., Furuta, T., Kawasaki, K., Hirano, H., Funatsu, Y., Toyomi, A., & Nakayama, S. (1997). Oxidative stability of powdery tridocosahexaenoin included in cyclodextrin and its application to fish meal paste. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 61(8), 1376-1378. doi:<https://doi.org/10.1271/bbb.61.1376>
- Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, S. M. (2011). Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). *Journal of food science and technology*, 48(6), 677-684. doi:<https://doi.org/10.1007/s13197-010-0195-x>
- Zandi, M., Mohebbi, M., Varidi, M., & Ramezani, N. (2014). Evaluation of diacetyl encapsulated alginate-whey protein microspheres release kinetics and mechanism at simulated mouth conditions. *Food Research International*, 56, 211-217. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.035>

## Using Arabic Gum, Maltodextrin and Inulin for Wall Compounds Microencapsulation and Rapid Release of the Bioactive Compounds from Cardamom Essential Oil in Saliva

Mostafa Shahidi Noghabi<sup>1\*</sup>, Mohammad Molaveisi<sup>2</sup>

1- Associate Professor, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

\* Corresponding author (m.shahidi@rifst.ac.ir)

2- PhD. Student, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

### Abstract

In this study, the carbohydrates material include Arabic gum (0-100%), maltodextrin (0-50%) and inulin (0-50%) were used as wall compounds for the microencapsulation of cardamom essential oil. A simple-central mixture design was used to experiment design, to optimize and find the best combination for maximal release in the mouth media. The aim of this study was microencapsulation of cardamom oil active ingredients and the effect comparison of adding maltodextrin and inulin to Arabic gum as coating materials on the responses involve the microencapsulation yield, and release of active ingredients and recovery of powder. In this study, the relationship between glass transition temperature and the release of essential oils of cardamom essential oil was investigated in saliva. The results showed that the optimal combination of Arabic gum, maltodextrin and inulin with ratios of 66.8:33.2:0.0, respectively, under these conditions, the microencapsulation yield of the essential oil, alpha-triphenyl acetate and 1 and 8 cineol were 83.57, 91.79 and 90.87%, the release of the active ingredient was 93.27% and the powder recovery was 67.72%. The glass transition temperature of the optimal combination was 42.9 °C, which was a suitable temperature for preserving the active ingredients at ambient temperature and release in saliva. According to the results of this study, the cardamom essential oil optimal combination can be successfully applied in the products as chocolate, candy, sugar cubes, without the release of active ingredients at ambient temperature and with the rapid and high release in the mouth media.

**Keyword:** Arabic gum, Cardamom essential oil, Inulin, Microencapsulation, Release