



## بهینه سازی فرایند ریزپوشانی کانتا گزانتین به روش الکترواسپری

فاطمه کریمی<sup>۱</sup>، محمدحسین عزیزی<sup>۲\*</sup>، سهراب معینی<sup>۳</sup>، محمد کریمی<sup>۴</sup>، رکسانا موگویی<sup>۵</sup>

۱-دانش آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم زیستی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲-عضو هیات علمی گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳-عضو هیات علمی گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده علوم و فنون دریایی دانشگاه آزاد تهران شمال، تهران، ایران

۴-عضو هیات علمی گروه نساجی دانشکده نساجی، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران

۵-عضو هیات علمی گروه مدیریت، برنامه ریزی و آموزش محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال،

تهران، ایران

| اطلاعات مقاله                                                                  | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| تاریخ های مقاله :<br>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۴<br>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱         | کانتاگزانتین مولکول کتوکاروتنوئید غیراشباع بوده که نسبت به عوامل محیطی حساس است. توسعه میکرو-نانو کپسولاسیون یکی از راهکارهایی است که ترکیبات زیست فعال را در برابر شرایط نامناسب محیطی محافظت می کند. در این مطالعه کانتاگزانتین با استفاده از پلیمر پروتئین آب پنیر با روش الکترواسپری ریزپوشانی شدند و با استفاده روش سطح پاسخ تاثیر چهار متغیر مستقل غلظت پروتئین آب پنیر، ولتاژ به کار رفته، نرخ ورودی و فاصله سر سرنگ و جمع کننده بر روی کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین ارزیابی شد. بر اساس نتایج به دست آمده توابع مطلوبیت بیشترین مطلوبیت با مقدار ۰/۹۳ در غلظت پروتئین آب پنیر ۳۹/۴٪، ولتاژ ۱۷/۵ kV، نرخ ورودی ۲/۲ mL/h، فاصله سر سرنگ و جمع کننده ۱۷/۱ cm تعیین شد. |
| کلمات کلیدی:<br>ریزپوشانی،<br>الکترواسپری،<br>پروتئین آب پنیر،<br>کانتاگزانتین |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| DOI:10.22034/FSCT.22.158.227.<br>* مسئول مکاتبات:<br>azizit_m@modares.ac.ir    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

## ۱-مقدمه

کپسول را نداشت و PB4 هم از کارایی بسیار پائینی برخوردار بود در حالیکه ریزکپسول های تهیه شده با PCLC از حلالیت خوبی در آب برخوردار بودند و پایداری حرارتی مناسبی هم داشتند به طوریکه پس از دوساعت قرارگرفتن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس هیچ کاهشی از آستانگزانترین در ریزکپسولهای تهیه شده با این پوشش مشاهده نکردند [7]. ریزپوشانی با استفاده از الکترواسپری از جمله روش های نوین جهت ریزپوشانی ترکیبات غذایی می باشد. هدف از انجام این تحقیق ارائه مدلی برای کارایی الکترواسپری کانتاگزانترین بر اساس متغیرهای موثر در کارایی ریزپوشانی کانتاگزانترین با استفاده از روش سطح پاسخ و ارائه نقاط بهینه متغیرهای مستقل در ریزپوشانی کانتاگزانترین به منظور بهینه سازی کارایی الکترواسپری کانتاگزانترین بر اساس توابع مطلوبیت می باشد.

## ۲-مواد و روش ها

در این مطالعه از پروتئین آب پنیر از شرکت پنتیر لبن با ویژگیهای پروتئین ۸۰٪، لاکتوز ۹٪، لیپید ۸٪ و آب ۲۸٪ و کانتاگزانترین از شرکت مرک استفاده شد.

دستگاه الکترواسپری مورد استفاده در این مطالعه ساخت دانشکده نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده است که جهت تولید نانوکپسولهای کانتاگزانترین به روش الکترواسپری، امولسیون تهیه شده در سرنگ ۹ سی سی با سوزن ۶۹ گیج (قطر داخلی ۰/۹۰ میلیمتر) ریخته شد. سرنگ به صورت افقی روی پمپ تغذیه قرار گرفت و قطب مثبت دستگاه به سرنگ حاوی محلول و قطب منفی به صفحه جمع کننده که یک صفحه فویل آلومینیومی (با ابعاد ۹۰×۹۰ سانتیمتر) بود، متصل گردید. شمایی از دستگاه الکترواسپری در شکل ۱ نشان داده شده است.

نقش غذا در سبک زندگی مدرن از برآورده کردن مواد مغذی پایه و ضروری برای مصرفکننده فراتر رفته و در زمینه جلوگیری از بیماریهای مرتبط با غذا و همچنین بهبود سلامت جسمی و روحی فرد مصرفکننده نیز در حال پیشرفت گستردهای است [1] امروزه کاروتنوئیدها به عنوان رنگ دهنده مواد غذایی، مکمل های خوراکی، مواد آرایشی و به منظور سلامتی انسان تولید می شوند [2]. از جمله کاروتنوئیدها می توان بتاکاروتن، آلفا کاروتن، کانتاگزانترین، آستانگزانترین، لیکوپن و ... را نام برد [3]. کانتاگزانترین امروزه در برخی کشورها به عنوان یک افزودنی مجاز در انواع سس، سوپ، شیرینی، نوشابه، بستنی، فرآورده های لبنی، فرآورده های گوشتی و فرآورده های دریایی مورد استفاده قرار می گیرد [4, 5] توسعه میکرو یا نانو کپسولاسیون یکی از راهکارهایی است که ترکیبات زیست فعال را در برابر شرایط نامناسب محیطی محافظت می کند [1] روش های متنوعی جهت ریزپوشانی ترکیبات وجود دارد که انتخاب آن به عوامل مختلفی بستگی دارد. در تحقیقی از پروتئین ذرت به عنوان ماده دیواره برای ریزپوشانی بتاکاروتن به روش الکترواسپری استفاده کردند. بدین طریق که پس از تهیه محلول حاوی بتاکاروتن و پروتئین ذرت (زئین)، از یک همزن مغناطیسی بسیار قوی در محیطی الکلی جهت تولید ریزکپسول استفاده شده است. بررسی های میکروسکوپی نشان از تولید ریزکپسول های حاوی بتاکاروتن به این روش داشته و نتایج آزمایشات نیز نشان دهنده پایداری این ریزکپسول ها در برابر نور بودند [6]. تاکاروتینون و همکاران (2009) از اتیل سلولز، PB4 (پلی متوکسی وینیل ۴-کینامات) و PCPLC (پلی متوکسی آمیل فتالیل کیتوزان) به عنوان مواد دیواره و روش خشک کن انجمادی استفاده نمودند. آنها مشاهده کردند که اتیل سلولز توان تشکیل

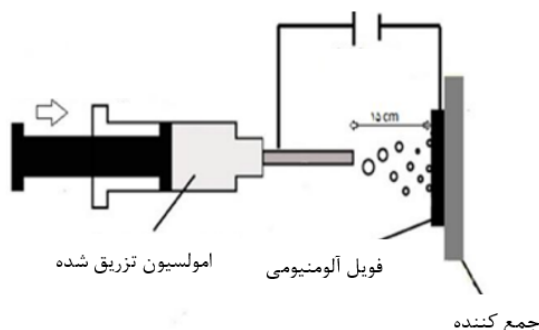


Fig 1. Electrospray machinery

## ۲-۱- تهیه امولسیون کانتاگزانتین

## ۲-۲- بازدهی ریزپوشانی (Microencapsulation)

(Efficiency):

با اندازه‌گیری میزان کاروتنوئید کل (Total Carotenoid) و کاروتنوئید سطحی (Surface Carotenoid) و با استفاده از معادله زیر میزان کارایی (ME) ریزپوشانی محاسبه می‌شود:

$$ME\% = \frac{TC - SC}{TC} \times 100 \quad \text{معادله ۱}$$

ME: میزان کارایی ریزپوشانی

TC: میزان کاروتنوئید کل

SC: میزان کاروتنوئید سطحی

برای محاسبه میزان کاروتنوئید کل ۵۰ میلی گرم کانتاگزانتین ریزپوشانی شده با ۲۵ میلی لیتر آب مقطر حل کرده سپس ۲۵ میلی متر هگزان اضافه کرده و با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب آن را در طول موج ۴۷۶nm اندازه می‌گیریم [9,8]. برای محاسبه میزان کاروتنوئید سطحی ذرات نیز ۵۰ میلی گرم از پودر تهیه شده را با ۲۵ میلی لیتر هگزان حل کرده سپس جذب آن را در طول موج ۴۷۶nm می‌خوانیم [10,9].

امولسیون کانتاگزانتین و مواد پوششی محلول در آب نوعی امولسیون روغن در آب محسوب می‌شود که رنگدانه‌ی کانتاگزانتین فاز روغنی آن را تشکیل می‌دهد و پروتئینی که به عنوان دیواره جهت پوشش رنگدانه به کار می‌روند تشکیل دهنده فاز آبی آن می‌باشند. تهیه این امولسیون شامل سه مرحله جداگانه هر یک از فازها و مخلوط نمودن آنها با دستگاه اولتراسونیک می‌باشد. در ابتدا نمونه‌های پروتئین آب پنیر در غلظت‌های (۲۰٪، ۲۵٪، ۳۰٪، ۳۵٪ و ۴۰٪) در آب مقطر تهیه نموده سپس محلول کانتاگزانتین با حل کردن ۱.۲۵٪ w/v در روغن ذرت آماده شدند. برای تهیه امولسیون از محلول سورفاکتانت توئین-۲۰ استفاده شد و با هموژنایزر آزمایشگاهی فشار بالا شرکت Albertslund ساخت کشور دانمارک امولسیون کاملاً هموژن گردید.

تجزیه وتحلیل داده ها که با استفاده از برنامه نرم افزاری SAS9.1 و براساس طرح روش سطح پاسخ و توابع مطلوبیت انجام شد[11].

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- مدل سازی ریزپوشانی کانتاگزانتین

طرح مورد استفاده در این مطالعه طرح مرکب مرکزی می باشد. طرح مرکب مرکزی با استفاده از نقاط محوری و چند نقطه مرکزی از طرح فاکتوریل به دست می آید.

همانطور که در جدول ۱ قابل مشاهده است چهار متغیر مستقل این طرح شامل غلظت پروتئین آب پنیر (C)، ولتاژ کاربردی (V)، نرخ ورودی (F) و فاصله سر سرنگ و جمع کننده (D) می باشد. این جدول سطوح کد شده و مقادیر واقعی (کد نشده) نقاط مورد آزمایش برای این چهار متغیر مستقل را نشان می دهد. متغیرها در پنج رنج ۱، ۰، +۱، +۲، -۱ و -۲ کد شده اند. آزمایشات در ۳۰ نقطه انجام شده است. کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین در پروتئین آب پنیر به عنوان پاسخ در نظر گرفته شده است.

به منظور تحلیل آماری تاثیر متغیرهای آزمایش بر کانتاگزانتین ریزپوشانی شده به روش الکترواسپری، در این تحقیق از روش سطح پاسخ استفاده شد. با استفاده از روش سطح پاسخ همچنین می توان روابط بین متغیرهای آزمایش و پاسخ (متغیر وابسته) را مورد مطالعه قرار داد. متغیرهای مستقل در روش الکترواسپری عبارتست از غلظت بسپار، ولتاژ کاربردی، نرخ ورودی و فاصله کاری. پاسخ مورد نظر نیز کارایی الکترواسپری می باشد. بر اساس طرح مرکب مرکزی، سطوح متغیرهای مستقل بر اساس مقادیر کد شده ۰، ±۱، ±۲ انتخاب می شود. α برابر مجذور تعداد متغیرهای مستقل می باشد.

معادله مدلی که از طرح مورد اجرا به دست خواهد آمد برای پاسخ مورد نظر به صورت معادله ۲ می باشد:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i x_i + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=i}^4 a_{ij} x_i x_j \quad \text{معادله ۲}$$

که در آن y، پاسخ پیش بینی شده (کارایی الکترواسپری)،  $x_i$  و  $x_j$  متغیرهای مستقل کد شده و  $a_0$ ،  $a_i$  و  $a_{ij}$  ضرایب مدل می باشند.

Table. 1 Experimental design of independent variables in the central composite design for canthaxanthine capsule

| Independent variable<br>Symbol                  |    | Range and level |    |     |    |     |
|-------------------------------------------------|----|-----------------|----|-----|----|-----|
|                                                 |    | -2              | -1 | 0   | +1 | +2  |
| Voltage                                         | X1 | 9               | 12 | 15  | 18 | 21  |
| Distance between<br>needle tip and<br>collector | X2 | 7               | 10 | 13  | 16 | 19  |
| Feed rate                                       | X3 | 0.5             | 1  | 1.5 | 2  | 2.5 |
| Concentration of whey<br>protein                | X4 | 20              | 25 | 30  | 35 | 40  |

سامانه ناشناخته است؛ در نتیجه بایستی این موضوع ارزیابی شود که آیا مدل، داده های آزمایشی را به خوبی می پوشاند یا خیر. با توجه به اینکه نیاز است که داده ها و مدل به دست آمده تحلیل و از لحاظ آماری اعتبارسنجی شوند، تجزیه

پس از آن که ضرایب رگرسیونی به دست آمد و کارایی الکترواسپری بر اساس متغیرهای آزمایش مدل شد، پاسخ مورد مطالعه (کارایی الکترواسپری) با استفاده از معادله مدل برای نقاط آزمایش تخمین زده شد (جدول ۲)، معمولاً رفتار

واریانس عبارات مرتبه اول، دوم و اثرات متقابل مدل  
 رگرسیون انجام شد. سپس تجزیه واریانس ضرایب عبارت-  
 های مدل انجام شده و ضریب تبیین ( $R^2$ ) مدل نیز بدست  
 آمد. برای اطمینان حاصل کردن از برازش مناسب انحنای  
 مدل آزمون عدم برازش در قالب جدول تجزیه واریانس با  
 استفاده از نرم افزار SAS9.1 انجام شد.

Table. 2 Responses of dependent variables for efficiency encapsulation to changes in the independent variables. X1: concentration of whey protein (wt.%), X2: feed rate (mLh<sup>-1</sup>), X3: voltage (kV), X4: distance between needle tip and collector (cm).

| Exp. No | Variable levels |    |    |    | Efficiency |            |
|---------|-----------------|----|----|----|------------|------------|
|         | X1              | X2 | X3 | X4 | y          | Efficiency |
| 1       | -1              | -1 | -1 | -1 | 32         | 32         |
| 2       | -1              | -1 | -1 | +1 | 61         | 58         |
| 3       | -1              | -1 | +1 | -1 | 30         | 29         |
| 4       | -1              | -1 | +1 | +1 | 61         | 66         |
| 5       | -1              | +1 | -1 | -1 | 30         | 29         |
| 6       | -1              | +1 | -1 | +1 | 59         | 55         |
| 7       | -1              | +1 | +1 | -1 | 30         | 36         |
| 8       | -1              | +1 | +1 | +1 | 73         | 73         |
| 9       | +1              | -1 | -1 | -1 | 37         | 40         |
| 10      | +1              | -1 | -1 | +1 | 65         | 66         |
| 11      | +1              | -1 | +1 | -1 | 37         | 37         |
| 12      | +1              | -1 | +1 | +1 | 74         | 74         |
| 13      | +1              | +1 | -1 | -1 | 32         | 36         |
| 14      | +1              | +1 | -1 | +1 | 63         | 62         |
| 15      | +1              | +1 | +1 | -1 | 40         | 44         |
| 16      | +1              | +1 | +1 | +1 | 82         | 80         |
| 17      | -2              | 0  | 0  | 0  | 45         | 44         |
| 18      | +2              | 0  | 0  | 0  | 60         | 59         |
| 19      | 0               | -2 | 0  | 0  | 55         | 57         |
| 20      | 0               | +2 | 0  | 0  | 57         | 61         |
| 21      | 0               | 0  | -2 | 0  | 41         | 42         |
| 22      | 0               | 0  | +2 | 0  | 60         | 57         |
| 23      | 0               | 0  | 0  | -2 | 20         | 13         |
| 24      | 0               | 0  | 0  | +2 | 70         | 75         |
| 25      | 0               | 0  | 0  | 0  | 66         | 59         |
| 26      | 0               | 0  | 0  | 0  | 61         | 59         |
| 27      | 0               | 0  | 0  | 0  | 60         | 59         |
| 28      | 0               | 0  | 0  | 0  | 58         | 59         |
| 29      | 0               | 0  | 0  | 0  | 60         | 59         |
| 30      | 0               | 0  | 0  | 0  | 63         | 59         |

نتایج تجزیه واریانس مدل کارایی الکترواسپری کانتاگرانترین

با بسپار پروتئین آب پنیر در جدول ۳ ارائه شده است. این

جدول مدل های کلی و پیش بینی را برای الکترواسپری با پروتئین آب پنیر را نشان می دهد.

Table. 3 Analysis of variance (ANOVA) for response of the dependent variable

| Source         | Predicted model |       |         | Total model |        |         |
|----------------|-----------------|-------|---------|-------------|--------|---------|
|                | d.f             | F     | p-value | d.f         | F      | p-value |
| regression     | 8               | 43.37 | 0.0001  | 14          | 33.37  | 0.0001  |
| Linear         |                 |       |         | 4           | 104.22 | 0.0001  |
| Squar          |                 |       |         | 4           | 7.57   | 0.0027  |
| interaction    |                 |       |         | 6           | 3.34   | 0.0355  |
| Residual error | 18              |       |         | 12          |        |         |
| Lac-of-fit     | 16              | 2.13  | 0.36    | 10          | 1.63   | 0.4377  |
| Pure error     | 2               |       |         | 2           |        |         |
| Total          | 26              |       |         | 26          |        |         |

برآزش مناسب معادله است. به بیان دیگر معادله درجه دوم ارائه شده توسط روش سطح پاسخ به خوبی می تواند تاثیرات غیر از مرتبه اول بر کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین با بسپار پروتئین آب پنیر را نیز پیش بینی کند. مدل ها و عبارتهایی که مقدار P آنها از ۰/۰۵ کمتر باشد از لحاظ آماری می تواند داده ها را با خطای کمتر از ۵ درصد پیش بینی کند. در مطالعه ای بتا کاروتن توسط صمغ عربی ریزپوشانی شد و نتایج نشان داد که ضرایب خطی، درجه دوم و اثر متقابل در معادله معنی دار بوده و مدل ریاضی با ضرایب اطمینان قابل قبول به دست آمد. در این مطالعه جدول ANOVA نشان می دهد آزمون عدم برآزش  $P \geq 0.05$  در سطح ۹۵٪ معنی دار نبود و خطای مورد انتظار مدل هم در سطح ۷/۲٪ پیش بینی شده است [12].

### ۳-۲- ارزیابی مدل کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین

روش سطح پاسخ بعد از اطمینان حاصل کردن از مدل ها، تجزیه واریانس همه عبارات مدل را بررسی می کند. نتایج تجزیه واریانس عبارات معادله مربوط به الکترواسپری کانتاگزانتین با استفاده از بسپار پروتئین آب پنیر در جدول ۴ ارائه شده است. در معادله مورد مطالعه p-value برای همه

مقادیر F در تجزیه واریانس مدل های کلی و پیش بینی شده به ترتیب ۳۳/۳۸ و ۴۳/۳۷ به دست آمد. مقادیر p-value برای مدل ها کمتر از ۰/۰۵ بود که نشان می دهد این مدل ها از لحاظ آماری قابلیت پیش بینی تاثیرات متغیرهای مستقل بر کارایی الکترواسپری را دارند. بعد از تأیید اعتبار مدل، نیاز است که هریک از عبارات معادله سنجیده شود. از آنجایی که p-value برای همه عبارات (مرتبه اول، مرتبه دوم و اثر متقابل) مربوط به معادله مورد مطالعه کمتر از ۰/۰۵ بود می توان نتیجه گرفت که همه سه نوع عبارات (مرتبه اول، مرتبه دوم و اثر متقابل) از لحاظ آماری اعتبار ورود در معادله را داشته است به گونه ای که این معادله توانایی پیش بینی تاثیرات مرتبه دوم و اثرات متقابل متغیرهای مستقل بر کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین را دارد. چون روش سطح پاسخ فقط قابلیت ارائه مدل های مرتبه اول و دوم را دارد و نمی تواند مدل های دیگری غیر از این دو مدل را برای پیش بینی متغیر وابسته ارائه دهد به آزمون عدم برآزش نیز برای اطمینان حاصل کردن مناسب بودن مدل در آنها نیاز است. همان طور که در جدول ۴ مشخص است p-value برای آزمون عدم برآزش ۰/۳۶ تعیین شد که نشان دهنده رد فرض عدم

$$Ef = -1.98 + 3.75 \times V - 0.91 \times D - 3.83 \times F + 1.66 \times C - 1.95 V^2 + 2.5 D \times F - 2.45 \times F^2 - 3.83 \times C^2$$

معادله ۳

$Ef$  کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین (%/،)  $V$  ولتاژ به کار رفته (kV)،  $D$  فاصله سر سرنگ تا محل جمع کننده (cm)،  $F$  نرخ ورودی (mL/h) و  $C$  غلظت پروتئین آب پنیر (%/ می باشد. علامت مثبت ضرایب نشان می دهد که عبارت مربوطه یک تاثیر هم جهت بر کارایی الکترواسپری داشته است و علامت منفی نشان دهنده یک تاثیر معکوس بر کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین را بازگو می کند.

جملات مرتبه اول و دوم به غیر از فاکتور مرتبه دوم ضخامت و همچنین عبارت  $D \times F$  کمتر از ۰/۰۵ بدست آمد. به بیان دیگر می توان گفت که تاثیرات این عبارات بر کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین با بسیار پروتئین آب پنیر معنی دار بود. به هر حال تاثیرات بقیه عبارات مربوط به اثر متقابل بر کارایی الکترواسپری معنی دار نشد. عباراتی که تاثیر معنی داری روی کارایی نداشتند وارد مدل پیش بینی نشدند. مقادیر  $R^2$  و  $R^2$  تعدیل شده برای مدل پیش بینی به ترتیب ۹۵/۳۳ و ۹۲/۸۶ درصد بود. معادله زیر مدل پیش بینی کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین با بسیار پروتئین آب پنیر بر اساس اعداد واقعی (کد نشده) متغیرهای آزمایش را ارائه می دهد.

Table. 4 Estimated coefficients of the fitted quadratic polynomial equation for the response of efficiency encapsulation based on t-statistic. X1: Concentration of whey protein (wt.%), X2: feed rate (mLh<sup>-1</sup>), X3: voltage (kV), and X4: distance between needle tip and collector (cm).

| parameter      | Coefficient | SS      | p-value | F      |
|----------------|-------------|---------|---------|--------|
| V              | 3.75        | 337.5   | 0.0005  | 21.31  |
| D              | 0.916       | 20.16   | 0.0028  | 1.27   |
| F              | 3.833       | 352.66  | 0.0004  | 22.27  |
| C              | 1.666       | 5890.88 | 0.0001  | 372.04 |
| V <sup>2</sup> | -1.958      | 133.33  | 0.0132  | 8.42   |
| D <sup>2</sup> |             | 56.33   | 0.0863  | 3.55   |
| F <sup>2</sup> | 2.45        | 192     | 0.0045  | 12.12  |
| C <sup>2</sup> | 3.833       | 408.33  | 0.0002  | 25.87  |
| V×D            |             | 0.25    | 0.92    | 0.015  |
| V×F            |             | 56.65   | 0.083   | 3.55   |
| V×C            |             | 9       | 0.46    | 0.56   |
| D×F            | 2.5         | 100     | 0.027   | 6.31   |
| D×C            |             | 42.25   | 0.128   | 2.66   |
| F×C            |             | 110.25  | 0.216   | 6.96   |

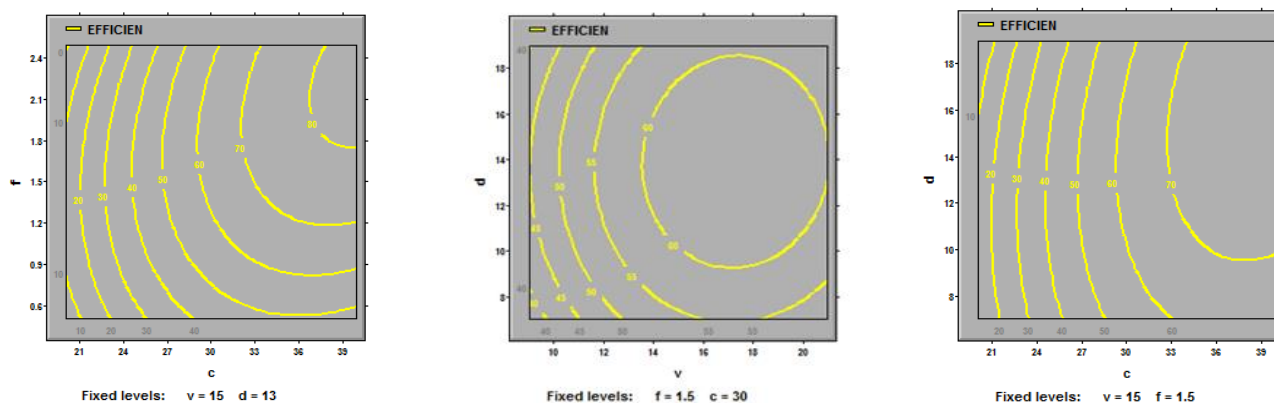
ای بتاکاروتن را توسط صمغ عربی ریزپوشانی کردند و مدل درجه دومی از متغیرهای مستقل به دست آوردند، که نشان داد زمانی که غلظت دیواره (صمغ عربی) افزایش می یابد و زمان کاهش می یابد، افزایشی در بازدهی ریزپوشانی کاروتنوئید دیده می شود [12]. همچنین بازدهی ریزپوشانی بتاکارتن ۳۲.۵٪ بوده است که این اختلاف می تواند به علت

مقدار بالای  $R^2$  نشان می دهد که یک همبستگی بالایی بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین با پروتئین آب پنیر برقرار است. همچنین نشان می دهد که مدل ارائه شده می تواند ۹۲/۸۶٪ کل تغییرات کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین با بسیار پروتئین آب پنیر را در شرایط مورد آزمایش تشریح و پیش بینی کند. در مطالعه

استفاده از خشک کردن پاششی توسط شیشیر و همکاران مورد مطالعه قرارگرفت و نتایج به دست آمده نشان داد که راندمان ریزپوشانی کاروتنوئید از ۴۸.۷۳ تا ۸۳.۶۵٪ متغیر بوده است [14].

عملکرد بهتر الکترواسپری نسبت به خشک کردن پاششی، به علت نبود گرما و در نتیجه آسیب ندیدن کاروتنوئید باقیمانده باشد. در مطالعه ی دیگر به بازدهی ۲۵.۴٪ کاروتنوئید دست یافتند [13]. همچنین بهینه سازی ریزپوشانی آستاگزانتین با

**Fig 2.** a) the contour plots for the effect of whey protein concentration and the distance between needle tip and collector electrospray efficiency of canthaxanthin , b) the effect of voltage and the distance between needle tip and collector electrospray efficiency of canthaxanthin by whey protein macromolecule, and c) the effect of changing whey protein concentration and the feed rate on the electrospray efficiency of canthaxanthin by whey protein macromolecule



خیلی پایین اعمال ولتاژ به علت ناپایداری منجر به تشکیل دانه می شود. در واقع در غلظت های کم، گره خوردگی زنجیره های پلیمری کافی نیست. در واقع در غلظت های زیاد به علت ایجاد کشش کمتر محلول کارایی الکترواسپری افزایش می یابد [16]. همانطور که در شکل مشاهده می شود در شرایط غلظت پروتئین آب پنیر و نرخ ورودی ثابت در نقطه صفر کد شده با افزایش ولتاژ به کار رفته یک روند افزایشی در کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین رخ داده ولی در مقادیر بالاتر از مقدار بهینه ی ولتاژ کاربردی کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین کاهش یافت. در واقع برای اینکه کپسول تشکیل بشود نیاز به زمان داریم تا محلول از سر نازل جدا شود. در ولتاژهای زیاد این فرصت به محلول داده نمی شود که به صورت ذرات کوچکتر از سر نازل جدا شود لذا

پلات های هم تراز پاسخ یک تصویر گرافیکی دو بعدی می باشد که می تواند تاثیرات اختصاصی و تجمعی متغیر و همچنین اثر متقابل متغیرهای مستقل را بر متغیر وابسته به تصویر بکشد. پلات پاسخ با استفاده از خطوط هم تراز، خصوصیات هندسی سطح را نمایش می دهد. [15].

پلات های هم تراز برای مدل کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین با بسیار پروتئین آب پنیر در شکل ۱ نشان داده شده است. در شرایط ولتاژ و نرخ ورودی ثابت در کمترین غلظت پروتئین آب پنیر امکان ریزپوشانی رنگدانه کانتاگزانتین کاهش می یابد و هنگامی که فاصله سرسرنگ و جمع کننده افزایش می یابد تاثیر قدرت میدان الکتریکی کاهش یافته و امکان قابلیت اسپری شدن کاهش یافته لذا کارایی الکترواسپری کاهش می یابد. در واقع در غلظت های

بهینه‌سازی یکی از مهمترین مراحل در طراحی و تحلیل آزمایش است. در تحقیق حاضر، از توابع مطلوبیت برای بهینه‌سازی متغیرهای آزمایش (مستقل) به منظور دستیابی به نقطه بیشینه متغیر وابسته (کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین با بسپار پروتئین آب پنیر) استفاده شده است.

Table5. Prediction profile for the trends in efficiency encapsulation at the maximum desirability

| Desirability | Feed rate | Voltage applied | Distance | Concentration |
|--------------|-----------|-----------------|----------|---------------|
| 93%          | 12/2      | 17/5            | 17/1     | 39/4          |

سبب می شود ذرات درشت و به عبارتی ریزپوشاننده های بزرگتری را تشکیل دهد که سبب کاهش کارایی الکترواسپری در ولتاژهای بیشتر از حد بهینه می شود [17].

### ۳-۳ بهینه سازی فرایند ریزپوشانی

جهت ریزپوشانی ترکیبات غذایی می باشد. در این مطالعه مدلی برای کارایی الکترواسپری کانتاگزانتین بر اساس متغیرهای موثر (غلظت کانتاگزانتین، نرخ ورودی، ولتاژ کاربردی و فاصله سرسرنج تا جمع کننده) در کارایی ریزپوشانی کانتاگزانتین با استفاده از روش سطح پاسخ ارایه شد. مقادیر p-value برای مدل‌ها کمتر از ۰/۰۵ بود که نشان می‌دهد این مدل‌ها از لحاظ آماری قابلیت پیش‌بینی تاثیرات متغیرهای مستقل بر کارایی الکترواسپری را دارند. مدل ارایه شده با ضریب تبیین ۹۵/۳۳٪ بازدهی ریزپوشانی را پیش بینی می کند. بیشترین مطلوبیت با مقدار ۰/۹۳ در غلظت پروتئین آب پنیر ۳۹/۴، ولتاژ ۱۷/۵، نرخ ورودی ۱۲/۲، فاصله سرسرنج و جمع کننده ۱۷/۱ تعیین شد.

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می شود بیشترین مطلوبیت با مقدار ۰/۹۳ در غلظت پروتئین آب پنیر ۳۹/۴، ولتاژ ۱۷/۵، نرخ ورودی ۱۲/۲، فاصله سرسرنج و جمع کننده ۱۷/۱ تعیین شد. بر اساس نتایج توابع مطلوبیت، در این نقطه بهینه فرایند الکترواسپری کانتاگزانتین با پروتئین آب پنیر بیشترین کارایی اسپری شدن را تجربه می کند.

### ۴-نتیجه گیری کلی

امروزه کاروتنوئیدها به عنوان رنگ دهنده مواد غذایی، مکمل های خوراکی، مواد آرایشی و به منظور سلامتی انسان تولید می شوند. از آنجایی که کاروتنوئیدها ترکیبات غیراشباع و ناپایداری هستند، ریزپوشانی یکی از راهکارهایی است که ترکیبات زیست فعال را در برابر شرایط نامناسب محیطی محافظت می‌کند. الکترواسپری از جمله روش های نوین

### ۷-منابع

- [1] Đorđević, V., Balanč, B., Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Trifković, K., Kalušević, A. and Nedović, V. 2014. Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Journal of Food Engineering Reviews* 7: 452-490.
- [2] Fortes, C., 2006. Carotenoids in cancer prevention in Carcinogenic food component. (Baer-Dubowska et al, eds). CRC Press, Boca Raton, pp: 123-137.
- [3] DeMan, J.M. 1999. Principles of food Chemistry. Springer, New York, pp: 127-128.
- [4] Smith, J. and Hong- Shun, L., 2003. Food additive data book. Wiley-Blackwell, London, pp: 23-25.
- [5] Otles, S. and Cagindi, O. 2008. Carotenoids as colorants. In *Food colorants chemical and functional properties*. (Socaciu, C, ed). CRC Press, Boca Raton, pp: 34-41.
- [6] Fernandez, A., Torres-Giner, S. and Lagaron, J.M. 2009. Novel route to stabilization of bioactive antioxidants by encapsulation in electrospun fibers of zein prolamine. *Journal of Food Hydrocolloid* 23: 1427-32.
- [7] Tachaprutinun, A., Udomsup, T., Luadthong, C. and Wanichwecharungruang, S. 2009. Preventing the thermal degradation of astaxanthin through nanoencapsulation. *Journal of Pharmaceutics* 374(1-2): 119-124.

- [8] Desobry, S.A., Netto, F.M., Labuza, T.B. 1997. Comparison of spray-drying, drum drying and freeze-drying for (1- 3, 1-4)- $\beta$ -arotene encapsulation and preservation. *Journal of Food Science* 62: 1158-62.
- [9] Khodaiyan, F., Razavi, SH and Mousavi, SM . 2008. Optimization of canthaxanthin production by *Dietzia natronolimnaea* HS-1 rom cheese whey using statistical experimental methods. *Biochem Eng J* 40:415-22.
- [10] Wagner, L. A., Warthesen, J.J. 1995. Stability of spray-dried encapsulated carrot carotenes. *Journal of Food Science* 60(5): 1048-53.
- [11] Castillo, E.D. 2007. Process optimization a statistical approach. Springer, New York, pp: 232.
- [12] Luiz, C.C., Maria, L. and Margarida, M., Microencapsulation of  $\beta$ -Carotene by Spray Drying: Effect of Wall Material Concentration and Drying Inlet Temperature. *Journal of Food Science* 51: 228-334.
- [13] Rocha, G. A., F´avaro-Trindade, C.S. and Grosso, C.R.F. 2012. Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. *Journal of Food and Bioproducts Processing* 90(1): 37-42.
- [14] Islam Shishir, M.R., Taip, F.S., Aziz, N.A. 2016. Optimization of spray drying parameters for pink guava powder using RSM. *Journal of Food Science and Biotechnology* 25(2): 461-468.
- [15] Lundstedt, T., Seifert, E. and Abramo, L., et al. 1998. Experimental design and optimization. *Journal of Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 42(1-2): 3-40.
- [16] Shenoy, S.L, Bates, W.D, Frisch, H.L, Wnek, G.E. 2005. Role of chain entanglements on fiber formation during electrospinning of polymer solutions: good solvent, non-specific polymer-polymer interaction limit. *Journal of Polymer*. 46(10): 3372-84.
- [17] Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W-E., Lim, T-C., Ma, Z. 2005. An introduction to electrospinning and nanofibers. World Scientific, London, pp: 323-37.



## Scientific Research

### Microencapsulation of canthaxanthine with electrospray and optimizing processing parameters toward efficiency encapsulation

Fatemeh Karimi<sup>1</sup>, Mohammad Hossein Azizi<sup>2\*</sup>, Sohrab Moeini<sup>3</sup>, Mohammad Karimi<sup>4</sup> and Roxana Moogouei<sup>5</sup>

1.Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University North Tehran branch, Tehran, Iran

2.Department of food science and Technology, Tarbiat Modares university, Tehran, Iran

3.Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University North Tehran branch, Tehran, Iran

4.Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

5.Department of Environmental planning, Management and Education, Islamic Azad University North Tehran Branch, Tehran, Iran

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

**Article History:**

Received: 2022/5/25

Accepted: 2023/1/1

**Keywords:**

*Canthaxanthin,  
Encapsulation,  
Electrospraying, Whey protein*

**DOI:** 10.22034/FSCT.22.158.227.

\*Corresponding Author E-  
azizit\_m@modares.ac.ir

This study showed the potential of the electrospinning (in this case electrospraying) technique to produce whey protein concentrate (WPC) micro and nanocapsules for applications in the encapsulation of canthaxanthin. The results showed that the solution concentration, feed solution flow rate and applied voltage had a direct effect on the encapsulation efficiency. by increasing of the solution concentration, feed solution flow rate and applied voltage, the encapsulation efficiency increased. The results showed that solution concentration was the most effective factor in electrospraying, because its scale estimate was highest. According to the results of analysis of variance (ANOVA) for this model, the regression model suggested a significant value for both linear and quadratic terms at  $P < 0.05$ . Also in order to obtain 0.93% encapsulation efficiency, optimum point was found at the emulsion concentration of 39.4%, feed solution flow rate of 12.2 ml/min, applied voltage of 17.5 kV, and 17.1cm distance between needle tip and collector.