



بررسی کارایی شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی تأثیر غلظت پلیمر و ولتاژ فرایند الکتروپاشش بر ویژگی‌های فیزیکی ذرات

علی آل‌حسینی^۱، محبوبه سرابی جماب^{۲*}، بهروز قرآنی^۳، رسول کدخدایی^۴، ساواکن وانگ‌ساسولاک^۵

1. دانشجوی دکتری، مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، گروه نانوفناوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد
2. استادیار، گروه زیست فناوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد
3. استادیار، گروه نانوفناوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد
4. دانشیار، گروه نانوفناوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد
5. استادیار، گروه مهندسی مواد غذایی، دانشگاه کینگ کینگ مونگکات، بانکوک

(تاریخ دریافت: 95/8/11، تاریخ پذیرش: 95/9/28)

چکیده

با توجه به حساسیت ترکیبات زیست فعال، به تازگی استفاده از روش نوین پاشش الکتروهایدرودینامیکی جهت ریزپوشانی این ترکیبات پیشنهاد شده است. پارامترهای مؤثر بر اندازه و مورفولوژی ذرات تولیدی به دلیل تأثیری که بر حفاظت ترکیبات زیست فعال و رهایش کنترل شده آن‌ها در مکان و زمان مناسب دارند، از اهمیت فراوانی برخوردار هستند. از این‌رو در مطالعه حاضر ابتدا اثرات میزان غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر، صمغ عربی، شیر خشک و ولتاژ روی برخی از ویژگی‌های فیزیکی محلول پلیمری و اندازه ذرات تولیدی به روش پاشش الکتروهایدرودینامیکی تعیین شد و سپس توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه و شبکه با تابع پایه شعاعی شبیه‌سازی گردید. این دو مدل همراه با توابع آستانه مختلف در پیش‌بینی مقادیر ویسکوزیته، کشش سطحی، هدایت الکتریکی محلول پلیمری و اندازه کپسول‌های تولیدی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مدل شبکه پرسپترون چند لایه متشکل از چیدمانی با پنج ورودی و یک لایه مخفی حاوی 4 نرون با تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک که با استفاده از الگوریتم یادگیری لوبنبرگ-مارکوارت و تعداد تکرار 1000 آموزش دیده بود، بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی این ویژگی‌ها در مقایسه با شبکه تابع پایه شعاعی به‌دست داد. ضرایب تبیین اندازه ذرات تولیدی، ویسکوزیته، کشش سطحی و هدایت الکتریکی محلول به ترتیب برابر با 0/958، 0/991، 0/996 و 0/967 بودند. آنالیز حساسیت مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی پرسپترون چند لایه در برابر مقادیر تجربی حاکی از قرار گرفتن داده‌ها به‌طور تصادفی در اطراف خط رگرسیونی با ضریب تبیین بالا بود که دلیلی بر دقت بالای شبکه عصبی در پیش‌بینی داده‌های خروجی می‌باشد. شایان ذکر است که اندازه ذرات تولیدی، ویسکوزیته و هدایت الکتریکی محلول پلیمری با بالا رفتن غلظت پلیمرهای به‌کار رفته افزایش یافت و تمامی سطوح اختلاف آماری معنی‌دار ($p < 0/05$) داشتند. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، به‌منظور پیش‌بینی اثرات عوامل اشاره شده بر ویژگی‌های فیزیکی محلول هیدروکلوئیدی و ذرات تولیدی در جهت انتخاب مناسب‌ترین ترکیب دیواره، با در نظر داشتن هدف از ریزپوشانی ترکیب زیست فعال، اهمیت کاربردی دارند.

واژه‌های کلیدی: پاشش الکتروهایدرودینامیکی، شبکه عصبی، مدل پرسپترون چند لایه، مدل تابع پایه شعاعی،

ویژگی‌های فیزیکی.

* نویسنده مسئول: m.sarabi@rifst.ac.ir

1- مقدمه

پروتئینی توسط آنزیم‌های گوارشی، باعث تولید پپتیدهای فعال زیستی می‌شود که اثرات فیزیولوژیکی منحصر به فردی در بدن دارند [8]. کنسانتره پروتئین آب پنیر، محصولی به رنگ سفید تا کرم روشن و طعم ملایم است که از حذف مواد معدنی و لاکتوز از آب پنیر به دست می‌آید [9, 10]. استفاده از ترکیبات تقویت کننده رشد پروبیوتیک‌ها منجر به تحریک رشد و فعالیت این دسته از باکتری‌ها در دستگاه گوارش و به خصوص روده می‌شود. این اجزاء، اغلب حاوی ترکیبات کربوهیدراتی هستند. محققین مختلف بیان کرده‌اند که شیر خشک و صمغ عربی به عنوان یک عامل حفاظتی برای باکتری‌های پروبیوتیکی در برابر عوامل نامساعد محیطی عمل نموده و به طور گسترده در ریزپوشانی پروبیوتیک‌ها استفاده می‌شوند [11-13]. در این ارتباط، صمغ عربی از جمله ترکیباتی است که بدون هضم به روده بزرگ رسیده و قادر به افزایش انتخابی باکتری‌های پروبیوتیک است [14]. این ترکیبات به عنوان یک عامل حفاظتی برای باکتری‌های پروبیوتیک در برابر عوامل نامساعد محیطی عمل نموده و می‌توانند زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک را تحت شرایط فیزیولوژیکی روده بهبود بخشند [11, 12].

برخی از رایج‌ترین روش‌های ریزپوشانی شامل خشک کردن پاششی¹، خشک کردن انجمادی²، سردکردن پاششی و خنک کردن پاششی³، به دام انداختن در لیپوزوم⁴، توده سازی⁵ و اکستروژن⁶ هستند. هر یک از روش‌های اشاره شده علاوه بر مزایا، دارای یک سری معایب نیز می‌باشند. از جمله این معایب می‌توان به استفاده از درجه حرارت‌های بالا، ایجاد خلل و فرج روی سطح ذرات تولیدی، محدودیت در تولید ذرات با قطر مشابه، راندمان پایین ریزپوشانی، عدم تبخیر کامل حلال مورد استفاده، پیچیده بودن فرایند و هزینه تولید بالا اشاره نمود [4, 5, 15-18]. در این خصوص، با توجه به حساسیت ترکیبات زیست فعال، به تازگی استفاده از روش نوین پاشش الکترو هیدرودینامیکی به عنوان روشی ساده، آسان و مؤثر جهت ریزپوشانی و حفظ این دسته از ترکیبات پیشنهاد شده است [2, 18 و 19]. به صورت کلی، در این روش از نیروهای

امروزه به دلیل عدم پذیرش افزودنی‌ها و نگراندانه‌های شیمیایی از یک سو و آگاهی و تمایل روز افزون مصرف‌کنندگان به خرید محصولاتی که دارای اثرات سلامت بخشی هستند از سوی دیگر، توسعه فراورده‌های حاوی ترکیبات زیست فعال¹ هم‌چون آنتی‌اکسیدان‌ها، ویتامین‌ها، رنگدانه‌های طبیعی و باکتری‌های پروبیوتیکی در صنایع غذایی و دارویی اهمیت فراوانی یافته است [1]. از این رو در صنایع غذایی و دارویی به دنبال روش‌های ریزپوشانی هستند که علاوه بر صرفه اقتصادی، به صورتی مؤثر، میزان پایداری این دسته از ترکیبات را در حین فرایند نمودن مواد غذایی، نگهداری طولانی مدت و یا در طی عبور از دستگاه گوارش انسان افزایش دهند [2]. در اصل، مفهوم ریزپوشانی در صنایع غذایی و دارویی عبارت است از به کارگیری ماده پوشش دهنده به دور ترکیب مورد نظر و محصور کردن آن به منظور تفکیک از محیط نامساعدی که در آن قرار دارد؛ به صورتی که آزادسازی هدفمند در مکان و زمان مناسب را به دنبال داشته باشد [3-5]. ماده پوشش دهنده باید دارای ویژگی‌هایی از قبیل حاوی اجزایی با درجه غذایی² (به طور کلی ایمن)³، سازگار با ترکیب یا میکروارگانیسم مورد نظر، پایداری در محیط، فاقد مزه نامطلوب، غیرجاذب الرطوبه، اقتصادی و دارای قابلیت رهایش مناسبی باشند [4].

پژوهش‌های صورت گرفته نشان داده‌اند که برخی از ترکیباتی که به عنوان پوشش در ریزپوشانی ترکیبات زیست فعالی هم‌چون باکتری‌های پروبیوتیکی به کار می‌روند، پوشش مناسبی برای آن‌ها در دستگاه گوارش انسان محسوب نمی‌شوند. برای نمونه به شرایط اسیدی معده انسان حساس می‌باشند. برای مثال آلزینات زمانی که به تنهایی به کار می‌رود [6]. این در حالی است که در میان انواع پوشش‌ها، برخی از ترکیبات پروتئینی مانند کنسانتره پروتئین آب پنیر⁴ به خوبی قادر هستند، سلول‌های باکتریایی زنده را به روده تحویل دهند [7]. پروتئین‌ها به دلیل دارا بودن گروه‌های عاملی در ساختار پلی پپتیدی خود، دارای توانایی‌های ویژه‌ای برای تعامل با طیف گسترده‌ای از ترکیبات بوده و از سوی دیگر هیدرولیز دیواره

1. Spray Drying
2. Freeze Drying
3. Spray Cooling & Spray Chilling
4. Liposome Entrapment
5. Coacervation
6. Extrusion

1. Bioactive Compounds
2. Food Grade
3. Generally Recognized as Safe (GRAS)
4. Whey Protein Concentrate (WPC)

ایده‌آل و مورد انتظار را دارند [33]. شبکه عصبی پرسپترون چند لایه یکی از رایج‌ترین انواع شبکه‌های عصبی است. در این حالت، تعداد نرون‌های لایه ورودی با تعداد عناصر بردار ورودی و تعداد نرون‌های لایه خروجی با تعداد عناصر بردار خروجی برابر در نظر گرفته می‌شوند [34]. به صورت کلی برآورد دقیق تعداد نرون‌های لایه میانی پیچیده است و تعداد نرون‌های لایه میانی تابعی از عناصر برداری ورودی می‌باشند. تعداد نرون‌های لایه مخفی عموماً به‌طور تجربی به‌دست می‌آید. رابطه (1) شیوه محاسبه خروجی هر نرون را نشان می‌دهد [35].

$$a = f\left(\sum_{i=1}^n p_i w_{j,i} + b_j\right) \quad (1)$$

f ، تابع آستانه نرون j ام؛ p_i مقدار خروجی از نرون i ام لایه قبل؛ b_j وزن مربوط به بایاس برای نرون j ام؛ a مقدار خروجی از نرون j ام؛ $w_{j,i}$ مقدار وزن اتصال بین نرون i ام لایه مذکور با نرون j ام لایه قبل است که بیانگر اهمیت ارتباط بین دو نرون در دو لایه متوالی می‌باشد.

یکی دیگر از انواع شبکه عصبی مصنوعی، شبکه با تابع پایه شعاعی¹ است. در این نوع از شبکه سیگنال‌های ورودی به‌طور مستقیم وارد سلول‌های لایه مخفی می‌شوند و توابع فعالیت در این شبکه‌ها محلی می‌باشند. در این نوع از شبکه، تعداد سلول‌های لایه خروجی برابر با تعداد خروجی‌ها است. به‌منظور تعلیم این شبکه، نیاز به تنظیم وزن‌ها و مرکز توابع فعالیت است و از روش گرادیان نزولی که بر اساس تعیین کم‌ترین مجموع مربعات خطا تنظیم می‌گردد، استفاده می‌شود. تکنیک توابع پایه شعاعی شامل انتخاب یک تابع F به فرم رابطه (2) می‌باشد [31]:

$$f(x) = \sum_{i=1}^N w_i \phi(\|x - x_i\|) \quad (2)$$

$i = 1, 2, \dots, N$ ، $\phi(\|x - x_i\|)$ مجموعه‌ای از N تابع غیرخطی می‌باشد (توابع پایه شعاعی)، $\|\bullet\|$ بیانگر نرم‌بردار می‌باشد که به‌صورت فاصله اقلیدسی در نظر گرفته می‌شود، $i = 1, 2, \dots, N$ و $X_i \in R^p$ مراکز توابع پایه شعاعی.

به‌منظور اعتبارسنجی شبکه‌ها دو روش رایج وجود دارد.

1. Radial Basis Function (RBF)

(PLGA)¹ به‌کار گرفتند و اثرات پارامترهای محلول مانند غلظت پلیمر، افزودن سورفاکتانت و نمک آلی و همچنین پارامترهای دستگاهی را در اندازه و مورفولوژی ذرات پلیمر مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که با تغییر پارامترهای مختلف فرایند، شکل و اندازه ذرات قابل کنترل است [29]. در مطالعه‌ای دیگر، پرز و همکاران تأثیر غلظت‌های مختلف چند پلی‌ساکارید شامل دکستران، نشاسته مقاوم، مالتودکسترین و صمغ پولولان را روی ویژگی‌های محلول تولیدی شامل ویسکوزیته، کشش سطحی، هدایت الکتریکی و نیز امکان‌پذیری انجام عملیات الکتروپاشش بررسی کردند [25]. بخشی و همکاران، نانو ذراتی از اسید فولیک ریزپوشانی شده در آلژینات سدیم را با استفاده از روش الکتروپاشش تولید کردند و اثرات ولتاژ و شدت جریان را روی اندازه و ساختار ذرات تولیدی بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند، شکل و نوع جریان تولیدی در نوک سوزن، توسط نرخ جریان مایع و ولتاژی که به آن اعمال شد، به شدت تحت تأثیر قرار گرفت [30]. با توجه به موارد اشاره شده، آگاهی از پارامترهای مؤثر بر عملیات الکتروپاشش دارای اهمیت زیادی است. در این خصوص می‌توان از شبکه‌های عصبی مصنوعی² بهره جست. شبکه‌های عصبی کاربردهای عمده‌ای در پیش‌بینی پارامترهای کلیدی، مدل کردن کنترل فرایند، مدل‌سازی غیرخطی، بهینه‌سازی محصولات و طراحی سیستم‌های بازرسی کیفیت دارا می‌باشند [31]. یک شبکه عصبی مصنوعی از شمار زیادی عناصر پردازشی ویژه به‌هم پیوسته به نام نرون تشکیل شده است. در شبکه‌های عصبی مصنوعی، اولین لایه که داده‌های ورودی به آن وارد می‌گردد، لایه ورودی نامیده می‌شود. لایه‌های میانی تحت عنوان لایه‌های مخفی و آخرین لایه که جواب‌های خروجی از مدل را فراهم می‌نماید، لایه خروجی نام دارد. از جمله مشهورترین توابع مورد استفاده برای آستانه‌گذاری در شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان به توابعی نظیر سیگموئید، آرکتانژانت و آرکسینوس اشاره کرد [32]. به‌صورت کلی، شبکه را با استفاده از قواعد و داده‌ها، آموزش داده و با استفاده از قابلیت یادگیری شبکه، الگوریتم‌های متنوعی پیشنهاد می‌گردد که همگی سعی در نزدیک کردن خروجی تولید شده توسط شبکه به خروجی

1. Poly-lactic-co-glycolic Acid (PLGA)
2. Artificial Neural Network (ANN)

2- مواد و روش ها**2-1- مواد اولیه**

کنسانتره پروتئین آب پنیر از شرکت آرلا (ARLA Food Ingredients, Viby, Denmark) تهیه شد و حاوی حدود 80% پروتئین، 9٪ لاکتوز و 8٪ چربی بود. صمغ عربی، شیر خشک، توئین 80 (Tween 80) و گلیسرول از شرکت های سیگما و مرک خریداری شده و بدون هیچ گونه خالص سازی مجدد، مورد استفاده قرار گرفتند. برای تهیه کلیه محلول ها از آب دیونیزه استفاده شد.

2-2- آماده سازی محلول پلیمری

کنسانتره پروتئین آب پنیر به عنوان پلیمر اصلی مورد آزمون دارای سه سطح غلظت 15، 20 و 25 درصد و صمغ عربی و شیرخشک در غلظت های 0 و 1 درصد بودند. سطوح اشاره شده، بر مبنای پیش تست های انجام شده، محدودیت های فنی و تکنیکی دستگاه موجود و بررسی منابع مرتبط و با رویکرد حفاظت حداکثری در صورت ریزپوشانی باکتری های پروبیوتیکی انتخاب شدند. هم چنین دو ترکیب گلیسرول به عنوان پلاستایزر و توئین 80 به عنوان سورفکتانت و به منظور تولید پایدار در حین انجام عملیات پاشش الکترو هیدرودینامیکی (به میزان 5٪ درصد کل ماده جامد)، به فرمولاسیون نهایی افزوده شدند [25].

2-3- انجام عملیات پاشش الکترو هیدرودینامیکی

به منظور انجام عملیات پاشش الکترو هیدرودینامیکی، از دستگاه الکتروریسی / الکتروپاشش (شرکت فناوری نانو ساختار آسیا، مدل RN/K، ساخت ایران) مجهز به دو پمپ سرنگ که قابلیت تزریق دقیق محلول پلیمری با سرعت 0/1-5 mL/h و در میدان الکتریکی با اختلاف پتانسیل حداکثر 34 kV بود، استفاده شد. برای انجام عملیات پاشش الکترو هیدرودینامیکی، هر یک از محلول های هیدروکلوئیدی به درون سرنگی با حجم 10 میلی لیتر کشیده شد. سرنگ مجهز به سوزنی از جنس استیل با قطر 0/69 میلی متر بود. پس از قرار دادن سرنگ در جایگاه مخصوص پمپ دستگاه و به منظور تولید کپسول ها، دبی جریان 0/2 mL/h، ولتاژ اعمال شده 14 و 18 کیلوولت و

روش اول مبتنی بر بررسی ضریب تبیین می باشد. رابطه (3)، شیوه محاسبه آن را نشان می دهد [36].

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (p_{ANN,i} - p_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{p}_{ANN,i} - p_{ANN,i})^2} \quad (3)$$

P_{ANN} = مقدار پیش بینی شده برای پارامترهای خروجی از شبکه، p_E = مقادیر داده های تجربی به دست آمده از آزمایش. روش دوم بررسی میانگین مربعات خطا می باشد که دقت و اعتبار دسته های آموزشی و آزمون را اندازه گیری می نماید و از رابطه (4) محاسبه می شود [37، 38].

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^M (p_{ANN,i} - p_{exp,i})^2}{N} \quad (4)$$

در این زمینه، کوک و همکاران به پیش بینی میزان تورم در هیدروژل کلسیم-آلژینات تحت تأثیر میزان pH و دما به کمک شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. آن ها میزان میانگین خطای مطلق، ضریب تبیین و خطای استاندارد پیش بینی شده را به ترتیب برابر با 0/2886، 0/9994 و 2/542 گزارش نمودند [37]. هم چنین هاشد و همکاران پارامترهای مؤثر بر شکل گیری نانو ذرات کیتوزان-تری پلی فسفات را با به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی، بهینه سازی نمودند [39]. جیانگ و همکاران نیز غربالگری هیدروژل تولیدی بر پایه هیالورونیک اسید-پلی اتین گلیکول را به منظور حمایت از بیوستنز سلول های زیستی، به کمک شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند [40].

با توجه به موارد اشاره شده و از آنجایی که اطلاعات بسیار اندکی در رابطه با پیش بینی اندازه کپسول های تولیدی تحت تأثیر میزان غلظت پلیمر هیدروکلوئیدی (شامل کنسانتره پروتئین آب پنیر، صمغ عربی و شیر خشک) و ولتاژ تولید (به عنوان یکی از مهم ترین عوامل تأثیرگذار روی اندازه کپسول ها) در روش پاشش الکترو هیدرودینامیکی وجود دارد، لذا در این مطالعه، برای اولین بار به پیش بینی اثرات عوامل اشاره شده بر ویژگی های فیزیکی محلول هیدروکلوئیدی شامل هدایت الکتریکی، کشش سطحی، ویسکوزیته از یک سو و اندازه کپسول های تولیدی از سوی دیگر، با بهره گیری از شبکه عصبی مصنوعی پرداخته شد.

فاصله تا صفحه جمع‌کننده 100 میلی‌متر در نظر گرفته شدند. به‌منظور بررسی مورفولوژی و اندازه ذرات تولیدی، نمونه‌ها روی فویل آلومینیوم جمع‌آوری شدند.

4-2- بررسی ریزساختار کپسول‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی

به‌منظور مشاهده ساختار کپسول‌های تهیه‌شده، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (شرکت سازنده: Oxford، مدل: S-360، ساخت انگلستان) استفاده شد. پس از پوشش‌دهی نمونه‌ها با لایه نازکی از طلا و برقراری خلأ در محفظه میکروسکوپ، شعاعی از الکترون‌های پرشتاب با ولتاژ حدود 20 کیلوولت بر نمونه‌ها اعمال و تصاویری در بزرگنمایی 2500 برابر تهیه شدند [41].

5-2- تعیین هدایت الکتریکی

برای تعیین هدایت الکتریکی محلول‌های پلیمری از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (شرکت Mettler Toledo، مدل Seven easy، ساخت سوئیس) استفاده شد. برای این منظور، پس از کالیبره نمودن هدایت‌سنج الکتریکی با محلول‌های کالیبراسیون، الکتروود دستگاه درون محلول پلیمری قرار داده شد و میزان هدایت الکتریکی محلول پس از تثبیت شمارشگر دیجیتال دستگاه قرائت گردید [42].

6-2- تعیین کشش سطحی

کشش سطحی محلول‌های پلیمری توسط دستگاه تنشیومتر دیجیتال (شرکت KRUSS، مدل K100، ساخت آلمان) با استفاده از روش وایل‌هلمی تعیین و بر حسب mN/m گزارش شد [43].

7-2- تعیین ویسکوزیته

ویسکوزیته ظاهری محلول‌های پلیمری با به‌کارگیری رئومتر چرخشی (شرکت BROOKFIELD، مدل DV III Ultra، ساخت آمریکا) در تنش برشی 100 s^{-1} و با به‌کارگیری اسپیندل شماره 18 مورد سنجش قرار گرفت [44].

8-2- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

در این مطالعه به‌منظور پیش‌بینی ویژگی‌های فیزیکی

محلول پلیمری و اندازه کپسول‌های تولیدی، از دو شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و تابع پایه شعاعی با یک لایه پنهان استفاده شد. لایه ورودی در هر دو شبکه برای پیش‌گویی ویژگی‌های فیزیکی، شامل پارامترهای غلظت پلیمرهای هیدروکلوئیدی (شامل کنسانتره پروتئین آب پنیر، صمغ عربی و شیرخشک) و ولتاژ اعمال شده و لایه خروجی پاسخ‌های مورد نظر شامل هدایت الکتریکی، کشش سطحی، ویسکوزیته محلول پلیمری و اندازه کپسول‌های تولیدی بود (شکل 2).

برای توسعه مدل‌ها و فرایند یادگیری (در هر دو شبکه به‌کار رفته)، ابتدا داده‌ها به سه زیر مجموعه به صورت 60 درصد داده‌ها برای آموزش شبکه، 15 درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی و 25 درصد داده‌ها برای تست شبکه تقسیم شدند. سپس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار NeuroSolutions نسخه 6 پیش‌بینی شدند. شبکه با یک لایه پنهان آموزش داده شد. برای آموزش شبکه‌های عصبی از الگوریتم‌های یادگیری مومنتوم با ضریب 0/7 و نرخ یادگیری برابر با 1 و لوب‌برگ-مارکوارت استفاده شد. همچنین تعداد نرون‌ها، تکرار یا سیکل و توابع فعال‌سازی مختلف نیز به‌منظور به‌دست آوردن بهترین شبکه تغییر داده شدند.

9-2- تجزیه و تحلیل داده‌ها

به‌منظور تعیین اندازه کپسول‌های تولیدی از برنامه پردازش تصویر ImageJ نسخه 1/46 استفاده شد. تأثیر میزان غلظت پلیمرهای هیدروکلوئیدی (شامل کنسانتره پروتئین آب پنیر، صمغ عربی و شیرخشک) و ولتاژ اعمال شده روی ویژگی‌های فیزیکی مورد آزمون با استفاده از روش آنالیز واریانس آنوا (ANOVA) تعیین و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری 5 درصد و با به‌کارگیری نرم‌افزار (SAS 2001) انجام شد.

3- نتایج و بحث

موفقیت در انجام فرایند الکتروپاشش، به نحوه توزیع پلیمرها در فاز مایع و عوامل مؤثر بر آن بستگی دارد [21، 23]. بنابراین بررسی و آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی محلول پلیمری به‌منظور شناخت هر چه بیشتر فرایند الکتروپاشش و عوامل تأثیرگذار

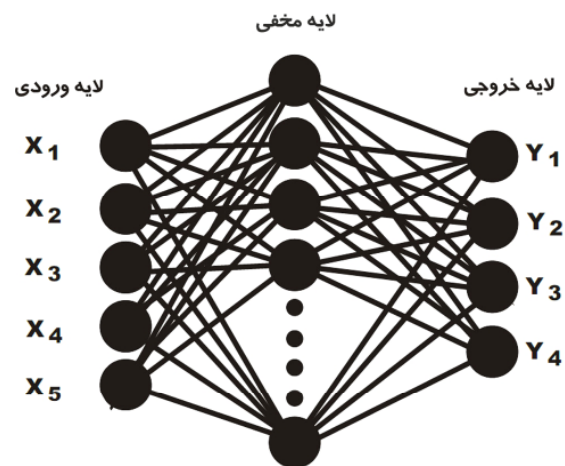
شده در نزدیکی داده های تجربی (در اطراف خط رگرسیون) و با ضریب تبیین بالا، دلیلی دیگر بر ارزیابی دقیق شبکه عصبی در پیش بینی این شاخص ها بود [45-47].

نتایج این مطالعه نشان داد، شبکه پرسپترون چند لایه با یک لایه پنهان برای پیش بینی تمامی ویژگی ها، بهتر از شبکه تابع پایه شعاعی بود. این نتیجه گیری، مشابه نتایج آل حسینی و همکاران، کاشانی نژاد و همکاران و برخلاف نتایج سابلائی و شفیور و سابلائی و همکاران با دو لایه پنهان بود [46-50]. کوک و همکاران نشان دادند شبکه عصبی رگرسیون تعمیم یافته نسبت به شبکه عصبی چند لایه رو به جلو و تابع پایه شعاعی بهتر بود [37]. بهترین الگوریتم یادگیری برای پیش بینی ویژگی های فیزیکی مورد آزمون در این تحقیق، مشابه نتایج شاهسواری و همکاران بود. البته آن ها در تحقیق خود از 15 لایه پنهان، 20 نرون و تابع انتقال لایه های پنهان، تانژانت سیگموئید استفاده نموده بودند [38].

تصاویر SEM دو نمونه از پلیمرهای تولیدی به روش پاشش الکترویدرودینامیکی در شکل (4) نشان داده شده اند. مرفولوژی کلیه کپسول های تولیدی در این مطالعه، کروی بود.

همچنین جدول (2)، مقایسه میانگین ویژگی های مورد بررسی را تحت تأثیر غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر، صمغ عربی و شیر خشک نشان می دهد. نتایج این مطالعه نشان داد، مقادیر ویسکوزیته و هدایت الکتریکی محلول پلیمری و اندازه کپسول های تولیدی، با بالا رفتن غلظت پلیمرهای به کار رفته، افزایش یافتند و تمامی سطوح با یکدیگر اختلاف آماری معنی دار ($p < 0/05$) داشتند. گزارش شده است زمانی که هدایت الکتریکی محلول پلیمری بیش از اندازه افزایش یابد (برای نمونه با افزودن برخی از نمک ها)، به علت هجوم ناگهانی و بیش از اندازه محلول پلیمری به سوی صفحه جمع کننده تحت تأثیر نیروهای الکترواستاتیکی، مخروط تیلور دچار بی ثباتی شده و عملیات پاشش الکترویدرودینامیکی با اختلال روبه رو می شود [51، 52].

با افزایش میزان کنسانتره پروتئین آب پنیر، هدایت الکتریکی محلول پلیمری از 2203/12 به 2478/75 میکروزیمنس و اندازه میانگین کپسول های تولیدی از 1/22



شکل (2) شماتیک یک شبکه عصبی X_1 = کنسانتره پروتئین آب پنیر (٪)، X_2 = صمغ عربی (٪)، X_3 = شیر خشک (٪)، X_4 = ولتاژ Y_1 (V) = اندازه کپسول (μm)، Y_2 = ویسکوزیته (cP)، Y_3 = کشش سطحی (mN/m)، Y_4 = هدایت الکتریکی (μS/cm)

بر مورفولوژی، اندازه و سایر ویژگی های ذرات تولیدی اهمیت فراوانی دارد. در این خصوص، جدول مقایسه مدل 1 نشان داد برای ویژگی های ویسکوزیته، هدایت الکتریکی، کشش سطحی محلول هیدروکلوئیدی و اندازه کپسول های تولیدی، شبکه پرسپترون چند لایه با یک لایه مخفی، چیدمانی با پنج ورودی، 4 نرون در لایه پنهان و 4 خروجی، با تابع محرک تانژانت هیپربولیک- تانژانت هیپربولیک، با الگوریتم یادگیری لوبنبرگ- مارکوارت و با تعداد تکرار 1000، بهترین نتیجه را برای پیش بینی این ویژگی ها در مقایسه با شبکه تابع پایه شعاعی، توابع محرک و الگوریتم های دیگر یادگیری داشت و این مدل قادر به پیش بینی ویژگی های مورد مطالعه با ضرایب تبیین بالایی بود. در این زمینه، شاهسواری و همکاران، فرمولاسیون نانو ذره یک ترکیب دارویی بر پایه یک پلیمر زیست تخریب پذیر 3- هیدروکسی بوتیرات- کو-3 هیدروکسی والیریت، توسط شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه با چند الگوریتم آموزشی مختلف بهینه سازی نمودند. آن ها از مدل های لوبنبرگ- مارکوارت، گرادیان نزولی و تنظیم بایسیان به منظور آموزش شبکه عصبی به کار گرفته شده، استفاده نمودند [38].

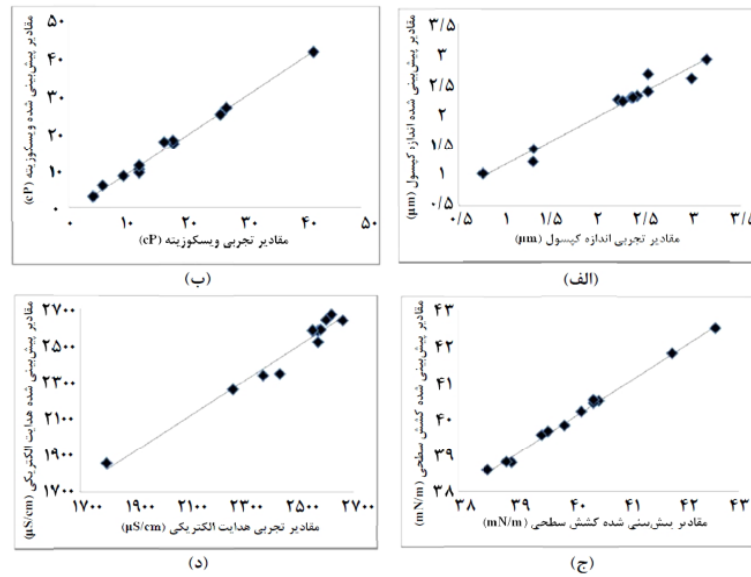
نمودار آنالیز حساسیت مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه عصبی پرسپترون چند لایه در برابر مقادیر تجربی در شکل (3) آمده است. در این مطالعه، قرار گرفتن داده های پیش بینی

جدول (۱) مقایسه دو مدل شبکه عصبی در پیش‌بینی ویژگی‌های ویسکوزیته، هدایت الکتریکی و کشش سطحی محلول پلیمری و اندازه کپسول‌های تولید شده طی فرایند الکتروپاشش

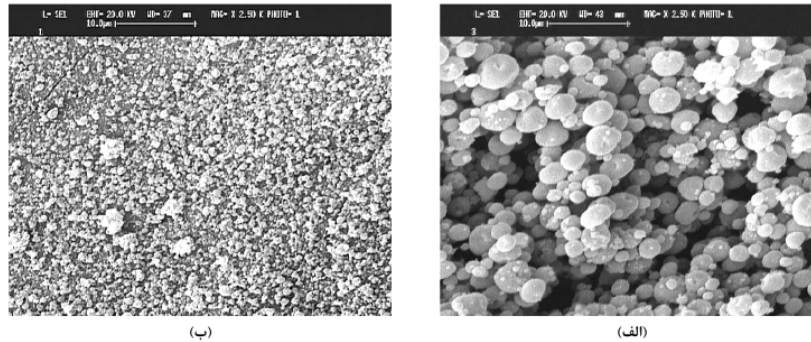
مدل شبکه	تابع محرک	قاعده یادگیری	تعداد تکرار	پارامترهای آماری	اندازه (μm)	ویسکوزیته (cP)	کشش سطحی (mN/m)	هدایت الکتریکی ($\mu\text{S/cm}$)
MLP	TanhAxon - TanhAxon	Levenberg-Mar- quardt (LM)	1000	R^2	0/958	0/991	0/996	0/967
				MSE	0/029	1/372	0/005	1713/686
چیدمان 5-4-4								
RBF	TanhAxon - TanhAxon	Levenberg- Marquardt (LM)	1000	R^2	0/773	0/967	0/729	0/977
				MSE	0/142	10/251	0/402	2118/553
چیدمان 5-4-4								
MLP	SigmoidAxon - SigmoidAxon	Levenberg- Marquardt (LM)	1000	R^2	0/965	0/924	0/915	0/965
				MSE	0/030	8/495	0/236	2147/997
چیدمان 5-4-4								
RBF	SigmoidAxon - SigmoidAxon	Levenberg- Marquardt (LM)	1000	R^2	0/387	0/274	0/480	0/941
				MSE	0/280	91/011	0/695	3424/831
چیدمان 5-4-4								
MLP	TanhAxon - TanhAxon	Momentum	1000	R^2	0/931	0/983	0/982	0/949
				MSE	0/041	2/289	0/026	2782/504
چیدمان 5-4-4								
RBF	TanhAxon - TanhAxon	Momentum	1000	R^2	0/604	0/421	0/734	0/977
				MSE	0/203	75/464	0/345	2361/786
چیدمان 5-4-4								
MLP	SigmoidAxon - SigmoidAxon	Momentum	1000	R^2	0/889	0/866	0/733	0/869
				MSE	0/068	18/754	0/353	12235/400
چیدمان 5-4-4								
RBF	SigmoidAxon - SigmoidAxon	Momentum	1000	R^2	0/257	0/239	0/161	0/697
				MSE	0/394	98/136	1/150	53570/097
چیدمان 5-4-4								

به 2/81 میکرومتر افزایش یافت. این افزایش، مشابه نتایج بیان کرده‌اند که حداقلی از درگیری زنجیره‌های پلیمری در پرز و همکاران، وانگ‌ساسولاک و همکاران و لوپز و همکاران بود. به نظر می‌رسد، افزایش در اندازه کپسول‌های تولیدی را می‌توان به افزایش در ویسکوزیته محلول نهایی و در نتیجه بالا رفتن غلظت پلیمرها، نسبت داد [13، 25، 27، 53]. محققین

بیان کرده‌اند که حداقلی از درگیری زنجیره‌های پلیمری در محلول پلیمری تحت تأثیر وزن مولکولی و غلظت پلیمر برای شروع عملیات الکتروپاشش ضروری است. از سوی دیگر، با افزایش درگیری زنجیره‌های پلیمر و به دنبال آن ویسکوزیته، تمایل برای تولید لیاف به جای کپسول در طی عملیات پاشش



شکل (3) مقادیر پیش بینی شده و تجربی ویژگی های (الف) اندازه کپسول، (ب) ویسکوزیته، (ج) کشش سطحی و (د) هدایت الکتریکی توسط شبکه عصبی چند لایه پرسپترون



شکل (4) تصاویر SEM کپسول های به دست آمده از طریق روش الکتروپاشش با غلظت های متفاوت پلیمر، (الف) 25٪ کنسانتره پروتئین آب پنیر + 1٪ صمغ عربی و (ب) 1٪ شیر خشک و (ب) 15٪ کنسانتره پروتئین آب پنیر

جدول (2) مقایسه میانگین ویژگی های مورد آزمون تحت تأثیر غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر، صمغ عربی و شیر خشک با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن ($p < 0/05$)

غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر (درصد)	اندازه (μm)	ویسکوزیته (cP)	کشش سطحی (mN/m)	هدایت الکتریکی ($\mu\text{S/cm}$)
15	$1/2270 \pm 0/59^c$	$6/8050 \pm 2/07^c$	$39/6300 \pm 0/96^a$	$2203/12 \pm 295/95^c$
20	$2/3066 \pm 0/15^b$	$14/3363 \pm 3/01^b$	$39/6588 \pm 1/07^a$	$2392/50 \pm 242/71^b$
25	$2/8100 \pm 0/28^a$	$33/9250 \pm 8/04^a$	$39/6650 \pm 0/50^a$	$2478/75 \pm 162/96^a$
غلظت صمغ عربی (درصد)				
0	$2/0594 \pm 0/72^b$	$14/3433 \pm 9/37^b$	$40/8548 \pm 1/08^a$	$2286/25 \pm 283/49^b$
1	$2/3296 \pm 0/77^a$	$22/3675 \pm 14/55^a$	$39/6066 \pm 1/26^b$	$2430/00 \pm 217/72^a$
غلظت شیر خشک				
(درصد)				
0	$2/1249 \pm 0/79^b$	$17/7400 \pm 13/02^b$	$40/5654 \pm 1/47^a$	$2156/25 \pm 202/87^b$
1	$2/2641 \pm 0/72^a$	$18/9708 \pm 12/82^a$	$40/1961 \pm 1/20^b$	$2560/00 \pm 94/68^a$

در هر ستون، میانگین های دارای حروف یکسان اختلاف معنی دار ندارند.

4- نتیجه‌گیری

در این مطالعه برخی از ویژگی‌های فیزیکی محلول پلیمری (هدایت الکتریکی، کشش سطحی، ویسکوزیته) و اندازه کپسول‌های تولیدی توسط روش پاشش الکتروهدرودینامیکی مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی شدند. برای ویژگی‌های مورد آزمون، شبکه پرسپترون چند لایه با یک لایه مخفی، چیدمانی با پنج ورودی، 4 نرون در لایه پنهان و 4 خروجی، با تابع محرک تانژانت هیپربولیک-تانژانت هیپربولیک، با الگوریتم یادگیری لونیگ-مارکواریت و با تعداد تکرار 1000، بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی این ویژگی‌ها در مقایسه با شبکه تابع پایه شعاعی داشت. ضرایب تبیین برای ویژگی‌های اندازه کپسول‌های تولیدی، ویسکوزیته، کشش سطحی و هدایت الکتریکی محلول به ترتیب برابر با 0/958، 0/991، 0/996 و 0/967 بود. هم‌چنین میانگین مربعات خطا برای آن‌ها به ترتیب برابر با 0/029، 1/372، 0/005 و 1713/686 برای شبکه پرسپترون چند لایه بود.

الکتروهدرودینامیکی افزایش می‌یابد [20، 21، 23]. در این خصوص، پرز و همکاران نشان دادند که در ویسکوزیته بسیار بالای 18738 سانتی پواز و با کاهش کشش سطحی محلول، مرفولوژی کپسول‌های پلی‌اتیلن اکساید از شکل کروی به لیاف تغییر یافت. هم‌چنین آن‌ها بیان کردند که همه پلیمرها، قابلیت الکتروپاشش ندارند [25].

میزان کشش سطحی یکی دیگر از پارامترهای کلیدی در طی فرایند پاشش الکتروهدرودینامیکی است. نتایج این تحقیق نشان داد، با افزایش غلظت صمغ عربی و شیر خشک، میزان کشش سطحی کاهش یافت. در این زمینه گزارش شده است که میزان بالای کشش سطحی در محلول پلیمری، می‌تواند بر نیروهای الکترواستاتیکی ناشی از به‌کارگیری ولتاژ و هدایت الکتریکی محلول پلیمری غلبه نماید و در نتیجه مانع شکل‌گیری مخروط تیلور و تولید کپسول گردد. این مهم، لزوم به‌کارگیری سورفکتانت مناسب را توجیه می‌نماید [51، 54].

منابع

- processing technologies for foods with bioactive compounds, J.J. Moreno, Editor. *CRC Press*. p. 259- 292.
- [5] Ghorani, B., Kadkhodai, R., and Alehosseini, A. (2017). The effect of biopolymer type, temperature and relative humidity on the physicochemical characteristics and stability of Microencapsulated bioactive compounds of saffron. *Food Sci. Technol.*, 14, 127-142 (In Persian).
- [6] Solanki, H.K., Pawar, D.D., Shah, D.A., Prajapati, V.D., Jani, G.K., Mulla, A.M., and Thakar, P.M. (2013). Development of microencapsulation delivery system for long-term preservation of probiotics as biotherapeutics agent. *BioMed Res. Int.*, 2013, 620719.
- [7] López-Rubio, A. and Lagaron, J.M. (2012). Whey protein capsules obtained through electrospraying for
- [1] Biesalski, H.-K., Dragsted, L.O., Elmadfa, I., Grossklaus, R., Müller, M., Schrenk, D., Walter, P., and Weber, P. (2009). Bioactive compounds: definition and assessment of activity. *Nutrition*, 25, 1202-1205.
- [2] Laelorspoen, N., Wongsasulak, S., Yoovidhya, T., and Devahastin, S. (2014). Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* in zein-alginate core-shell microcapsules via electrospraying. *J. Funct. Foods*, 7, 342-349.
- [3] Krasaekoopt, W., Bhandari, B., and Deeth, H. (2003). Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. *Int. Dairy J.*, 13, 3-13.
- [4] Ghorani, B., Alehosseini, A., and Tucker, N. (2016). Electrospraying as a novel delivery vehicle for bioactive compounds in food nanotechnology, in *Innovative*

- [16] Hernández-Rodríguez, L., Lobato-Calleros, C., Pimentel-González, D.J., and Vernon-Carter, E.J. (2014). Lactobacillus plantarum protection by entrapment in whey protein isolate: κ -carrageenan complex coacervates. *Food Hydrocolloids*, 36, 181-188.
- [17] López-Rubio, A. and Lagaron, J.M. (2011). Improved incorporation and stabilisation of β -carotene in hydrocolloids using glycerol. *Food Chem.*, 125, 997-1004.
- [18] Pérez-Masiá, R., López-Nicolás, R., Periago, M.J., Ros, G., Lagaron, J.M., and López-Rubio, A. (2015). Encapsulation of folic acid in food hydrocolloids through nanospray drying and electrospraying for nutraceutical applications. *Food Chem.*, 168, 124-33.
- [19] Pérez-Masiá, R., Lagaron, J.M., and Lopez-Rubio, A. (2015). Morphology and stability of edible lycopene-containing micro-and nanocapsules produced through electrospraying and spray drying. *Food Bioprocess Technol.*, 8, 459-470.
- [20] Rayleigh, L. (1882). XX. On the equilibrium of liquid conducting masses charged with electricity. *Philosophical Magazine Series 5*, 14, 184-186.
- [21] Jaworek, A. (2007). Micro- and nanoparticle production by electrospraying. *Powder Technol.*, 176, 18-35.
- [22] Ghorani, B. and Tucker, N. (2015). Fundamentals of electrospinning as a novel delivery vehicle for bioactive compounds in food nanotechnology. *Food Hydrocolloids*, 51, 227-240.
- [23] Jaworek, A. and Sobczyk, A.T. (2008). Electrospraying route to nanotechnology: An overview. *J. Electrostat.*, 66, 197-219.
- [24] Anu Bhushani, J. and Anandharamakrishnan, C. (2014). Electrospinning and electrospraying techniques: Potential food based applications. *Trends Food Sci. Technol.*, 38, 21-33.
- the encapsulation of bioactives. *In. Food Sci. Emerging Technol.*, 13, 200-206.
- [8] Doherty, S.B., Gee, V.L., Ross, R.P., Stanton, C., Fitzgerald, G.F., and Brodkorb, A. (2011). Development and characterisation of whey protein micro-beads as potential matrices for probiotic protection. *Food Hydrocolloids*, 25, 1604-1617.
- [9] Gilbert, V., Rouabhia, M., Wang, H., Arnould, A.-L., Remondetto, G., and Subirade, M. (2005). Characterization and evaluation of whey protein-based biofilms as substrates for in vitro cell cultures. *Biomaterials*, 26, 7471-7480.
- [10] Gunasekaran, S., Ko, S., and Xiao, L. (2007). Use of whey proteins for encapsulation and controlled delivery applications. *J. Food Eng.*, 83, 31-40.
- [11] Desmond, C., Ross, R.P., O'Callaghan, E., Fitzgerald, G., and Stanton, C. (2002). Improved survival of Lactobacillus paracasei NFBC 338 in spray-dried powders containing gum acacia. *J. Appl. Microbiol.*, 93, 1003-1011.
- [12] McNamee, B.F., O'Riordan, E.D., and O'Sullivan, M. (2001). Effect of partial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. *J. Agri. Food Chem.*, 49, 3385-3388.
- [13] López-Rubio, A., Sanchez, E., Wilkanowicz, S., Sanz, Y., and Lagaron, J.M. (2012). Electrospinning as a useful technique for the encapsulation of living bifidobacteria in food hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 28, 159-167.
- [14] Philips, G., Ogasawara, T., and Ushida, K. (2008). The regulatory and scientific approach to defining gum Arabic as a dietary fiber. *Food Hydrocolloids*, 22, 24-35.
- [15] Chavarri, M., Maranon, I., and Carmen, M. (2012). Encapsulation technology to protect probiotic bacteria. *InTech*. 501-540.

- cial neural networks: theoretical background and pharmaceutical applications: a review. *J. AOAC Int.*, 95(3), 652-668.
- [34] Chatterjee, S.P. and Pandya, A.S. (2015). Artificial neural networks in drug transport modeling and simulation II. *Artificial Neural Network for Drug Design, Delivery and Disposition*: 243.
- [35] Amiri Chaijan, R., Khosh Taghaza, M., Montazer, G., Minaee, S., and Alizadeh, M. (2009). Estimation of head rice yield using artificial neural networks for fluidized bed drying of rough rice. *J. Water and Soil Sci.*, 13(48), 285-298.
- [36] Mokhtarian, M. and Zenoozian, M.S. (2011). Predicting of osmotic dehydration kinetics of pumpkin by means of intelligent artificial neural network in static situation. *J. Food Sci. Technol*, 3, 61-73.
- [37] Koç, M.L., Özdemir, Ü., and İmren, D. (2008). Prediction of the pH and the temperature-dependent swelling behavior of Ca²⁺-alginate hydrogels by artificial neural networks. *Chem. Eng. Sci.*, 63(11), 2913-2919.
- [38] Shahsavari, S., Shirmard, L.R., Amini, M., and Dokoosh, F.A. (2016). Application of Artificial Neural Networks in the Design and Optimization of a Nanoparticulate Fingolimod Delivery System Based on Biodegradable Poly (3-Hydroxybutyrate-Co-3-Hydroxyvalerate). *J. Pharm. Sci.*, 106(1): 176-182.
- [39] Hashad, R.A., Ishak, R.A., Fahmy, S., Mansour, S., and Geneidi, A.S. (2016). Chitosan-tripolyphosphate nanoparticles: Optimization of formulation parameters for improving process yield at a novel pH using artificial neural networks. *Int. J. Biol. Macromol.*, 86, 50-58.
- [40] Jeong, C.G., Francisco, A.T., Niu, Z., Mancino, R.L., Craig, S.L., and Setton, L.A. (2014). Screening of hyaluronic acid-poly (ethylene glycol) composite hy-
- [25] Pérez-Masiá, R., Lagaron, J.M., and López-Rubio, A. (2014). Development and optimization of novel encapsulation structures of interest in functional foods through electrospraying. *Food Bioprocess Technol.*, 7,3236-3245.
- [26] Nieuwland, M., Geerdink, P., Brier, P., van den Eijnden, P., Henket, J.T.M.M., Langelaan, M.L.P., Stroeks, N., van Deventer, H.C., and Martin, A.H. (2013). Food-grade electrospinning of proteins. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.*, 20, 269-275.
- [27] Wongsasulak, S., Kit, K.M., McClements, D.J., Yoovidhya, T., and Weiss, J. (2007). The effect of solution properties on the morphology of ultrafine electrospun egg albumen-PEO composite fibers. *Polymer*, 48, 448-457.
- [28] Gomez-Mascaraque, L.G., Morfin, R.C., Pérez-Masiá, R., Sanchez, G., and Lopez-Rubio, A. (2016). Optimization of electrospraying conditions for the microencapsulation of probiotics and evaluation of their resistance during storage and in-vitro digestion. *LWT-Food Sci. Technol.*, 69, 438-446.
- [29] Xie, J., Lim, L.K., Phua, Y., Hua, J., and Wang, C.-H. (2006). Electrohydrodynamic atomization for biodegradable polymeric particle production. *J. Colloid Interface Sci.*, 302, 103-112.
- [30] Bakhshi, P.K., Nangrejo, M.R., Stride, E., and Edirisinghe, M. (2012). Application of electrohydrodynamic technology for folic acid encapsulation. *Food Bioprocess Technol.*, 6,1837-1846.
- [31] Haykin, S. and Lippmann, R. (1994). Neural networks, a comprehensive foundation. *International Journal of Neural Systems*, 5(4), 363-364.
- [32] Sajikumar, N. and Thandaveswara, B. (1999). A non-linear rainfall-runoff model using an artificial neural network. *J. Hydrology*, 216(1), 32-55.
- [33] Wesolowski, M. and Suchacz, B. (2012). Artificial

- J. Sci. Technol.*, 15(75)1-14.
- [48] Kashaninejad, M., Dehghani, A., and Kashiri, M. (2009). Modeling of wheat soaking using two artificial neural networks (MLP and RBF). *J. Food Eng.*, 91(4), 602-607.
- [49] Sablani, S.S., Baik, O.-D., and Marcotte, M. (2002). Neural networks for predicting thermal conductivity of bakery products. *J. Food Eng.*, 52(3), 299-304.
- [50] Sablani, S.S. and Rahman, M.S. (2003). Using neural networks to predict thermal conductivity of food as a function of moisture content, temperature and apparent porosity. *Food Res. Int.*, 36(6), 617-623.
- [51] Bock, N., Dargaville, T.R., and Woodruff, M.A. (2012). Electro spraying of polymers with therapeutic molecules: State of the art. *Prog. Polym. Sci.*, 37, 1510-1551.
- [52] Ding, L., Lee, T., and Wang, C.-H. (2005). Fabrication of monodispersed Taxol-loaded particles using electrohydrodynamic atomization. *J. Controlled Release*, 102(2), 395-413.
- [53] Wongsasulak, S., Patapeejumruswong, M., Weiss, J., Supaphol, P., and Yoovidhya, T. (2010). Electrospinning of food-grade nanofibers from cellulose acetate and egg albumen blends. *J. Food Eng.*, 98, 370-376.
- [54] Fong, H., Chun, I., and Reneker, D.H. (1999). Beaded nanofibers formed during electrospinning. *Polymer*, 40, 4585-4592.
- drogels to support intervertebral disc cell biosynthesis using artificial neural network analysis. *Acta Biomater.*, 10(8), 3421-3430.
- [41] Thirugnanaselvam, M., Gobi, N., and Arun Karthick, S. (2013). SPI/PEO blended electrospun matrix for wound healing. *Fibers Polym.*, 14, 965-969.
- [42] Moomand, K. and Lim, L.-T. (2015). Effects of solvent and n-3 rich fish oil on physicochemical properties of electrospun zein fibres. *Food Hydrocolloids*, 46, 191-200.
- [43] Kriegel, C., Kit, K.M., McClements, D.J., and Weiss, J. (2009). Electrospinning of chitosan-poly(ethylene oxide) blend nanofibers in the presence of micellar surfactant solutions. *Polymer*, 50, 189-200.
- [44] Bocanegra, R., Gaonkar, A.G., Barrero, A., Loscertales, I.G., Pechack, D., and Marquez, M. (2005). Production of cocoa butter microcapsules using an electro spray process. *J. Food Sci.*, 70, e492-e497.
- [45] Mokhtarian, M., Shafafi Zenozian, M., Armin, M., and Kooshki, F. (2012). Application of response surface methodology coupled with artificial neural network to predict kinetic of food product under different drying conditions. *J. Innovation in Food Sci. Technol.*, 3(4), 51-66 (In Persian).
- [46] Alehosseini, E., Jafari, S.m., motamedzadegan, A., and Alehosseini, A. (2016). Evaluation of artificial neural networks (ANNs) in predicting the effects of cleaning, moisture content, temperature and time on the physical and microbial characteristics of wheat. *J. Food Res.*, 26(4): 577-588.
- [47] Alehosseini, E., Jafari, S.m., motamedzadegan, A., and Alehosseini, A. (2015). Evaluate the performance of two type artificial neural networks multi-layer perceptron (MLP) and radial basis function (RBF) to prediction's effects of cleaning, moisture, temperature and time on the chemical properties of wheat grain.