

# بهینه‌سازی فرآیند آبدگیری اسمزی شلیل و مدل‌سازی پارامترهای آبدگیری با کمک شبکه‌ی عصبی مصنوعی

حمید بخش آبادی<sup>1\*</sup>، معصومه مقیمی<sup>2</sup>، زهرا دولت آبادی<sup>3</sup>، سحر اصغری پور<sup>1</sup>

- 1- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران.
- 2- گروه شیمی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران.
- 3- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران.

تاریخ پذیرش: 1396/10/06

تاریخ دریافت: 139/08/30

## چکیده

در این تحقیق بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن اسمزی میوه شلیل با هدف بیشینه کردن کاهش آب و کمینه نمودن جذب مجدد آب توسط روش سطح پاسخ و همچنین تخمین پارامترهای آبدگیری با کمک شبکه عصبی انجام گرفت. اثرات سه فاکتور دمای محلول اسمزی در محدوده‌ی 40 تا 60 درجه سانتی‌گراد، مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی در محدوده 60 تا 240 دقیقه و غلظت ساکارز در محلول اسمزی در محدوده‌ی 40 تا 60 درجه بریکس با کمک طرح مربع مرکزی روی پارامترهای کاهش آب، جذب مواد جامد، نسبت کاهش آب به جذب مواد جامد و میزان کاهش وزن نمونه‌ها بررسی گردید. بررسی نتایج نشان داد شرایط بهینه برای فرآیند آبدگیری اسمزی زمانی ایجاد می‌شود که دمای محلول اسمزی 40 سانتی‌گراد، مدت زمان تماس محصول با محلول 240 دقیقه و غلظت محلول اسمزی 40/26 درصد ساکارز باشد. در شرایط بهینه شاخص‌های کاهش آب، درصد جذب مواد جامد، نسبت کاهش آب به درصد جذب مواد جامد و میزان کاهش وزن نمونه‌ها به ترتیب 40/73، 2/56، 16/97 و 43/73 درصد محاسبه شد. همچنین نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه‌ای با یک لایه پنهان حاوی 4 نورون یعنی چیدمان 4-4-3 (شبکه‌ای با 3 ورودی، 4 گره (نورون) در لایه پنهان و 4 خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد. این شبکه با مقدار ضریب همبستگی 0/921 و میانگین مربعات خطای 0/0191 بالاترین دقت را در بین توپولوژی‌های در نظر گرفته شده از خود نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** آبدگیری اسمزی، روش سطح پاسخ، شبکه عصبی مصنوعی، شلیل

## 1-مقدمه

کنترل مقدار آب موجود در محصولات کشاورزی یکی از روش‌های نگهداری مواد غذایی است که مورد توجه بشر بوده است. میزان رطوبت بالا در میوه‌ها، نقش مهمی در زنجیره حمل و نقل و ذخیره‌سازی آن‌ها ایفا می‌کند. رشد میکروبوها، بد رنگی، پیدایش طعم نامناسب و کاهش ارزش تغذیه‌ای از جمله حالاتی هستند که به دنبال نگهداری میوه‌های دارای رطوبت بالا اتفاق می‌افتد و محصول را برای مصرف انسان نامطلوب می‌سازد. بنابراین، کاهش رطوبت یا خشک کردن از طریق انتقال هم‌زمان جرم و حرارت، به طور گسترده برای افزایش ماندگاری، تسهیل حمل و نقل، حفظ کیفیت و کاهش افت پس از برداشت محصولات کشاورزی و به منظور تولید میوه‌ها و سبزی‌های خشک شده مورد استفاده قرار می‌گیرد (13). در گذشته محصولات کشاورزی به صورت سنتی در مقابل نور خورشید خشک می‌شدند که روش بسیار آسان و کم‌هزینه‌ای بود. اما چنین روشی دارای معایبی از جمله کاهش کیفیت، غیر قابل کنترل بودن شرایط فرآیند، نیاز به فضای زیاد، خشک شدن غیر یکنواخت و طولانی بودن زمان خشک شدن است (14 و 15). از آنجا که استفاده از هوای داغ در خشک کردن روش مرسوم است اما اثرات سوئی بر کیفیت محصول از جمله تغییر رنگ، سفتی بافت و طعم اسیدی محصول خشک شده می‌گذارد. به همین علت می‌بایست از روش‌های دیگری برای بهبود کیفیت محصول نهایی استفاده نمود. خشک کردن اسمزی یک فرآیند آبرگیری از مواد غذایی مانند میوه‌جات و سبزیجات است که شامل خیساندن آن‌ها در یک محلول هایپرتونیک مناسب مانند ساکارز، گلوکز و ... و همچنین نمک‌های مختلف می‌باشد که باعث کاهش رطوبت مواد غذایی قبل از فرآیند خشک کردن نهایی می‌شود (13 و 17). شلیل با نام علمی (*Prunus persica L. Bath*) درختی از خانواده گل سرخ و زیر خانواده پرونیویده و جنس پرونوس می‌باشد. شلیل نوعی هلو است که توسط جهش رویشی در یکی از ژن‌های هلو به وجود آمده است و در نتیجه‌ی این جهش

کرک‌های روی میوه از بین رفته و رنگ، عطر و طعم خاص در آن ایجاد شده است (2). شلیل با وجود اینکه ترکیبات آنتی‌اکسیدانی کمتری نسبت به برخی از میوه‌های دیگر مانند توت فرنگی، کیوی، سیب و پرتقال دارد (16)، ولی از آنجا که حاوی مقدار قابل توجهی ویتامین ث و کاروتنوئیدهاست، از نقطه نظر اقتصادی و تغذیه‌ای بسیار مفید می‌باشد. سطح زیر کشت آن در ایران 177491 هکتار و تولید سالانه 122628 تن می‌باشد که مهمترین استان‌های تولید کننده آن عبارتند از تهران، مازندران، گلستان، فارس، اردبیل، مرکزی، قزوین و آذربایجان غربی (18). آیدانی و همکاران (1392)، فرآیند خشک کردن اسمزی برش‌های پرتقال را با هدف بیشینه کردن کاهش آب و کمینه نمودن جذب مجدد آب و مقدار رطوبت نهایی توسط روش سطح پاسخ بهینه‌سازی نمودند. آن‌ها در این مطالعه اثرات سه فاکتور دمای محلول اسمزی در محدوده‌ی 30 تا 60 درجه سانتی‌گراد، مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی در محدوده 0 تا 300 دقیقه و غلظت ساکارز در محلول اسمزی در محدوده 35 تا 65 درجه بریکس با کمک طرح مربع مرکزی<sup>1</sup> روی پارامترهای کاهش آب، جذب مواد جامد، نسبت کاهش آب به جذب مواد جامد، میزان رطوبت نهایی و اختلاف بریکس بررسی گردید. بررسی نتایج نشان داد شرایط بهینه برای فرآیند آبرگیری اسمزی پرتقال زمانی ایجاد می‌شود که دمای محلول اسمزی 30 درجه سانتی‌گراد، مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی 229/2 دقیقه و غلظت محلول اسمزی 65 درصد ساکارز بود (1). ارن و کایمک - ارتکین (2007)، بهینه‌سازی فرآیند آبرگیری اسمزی سیب‌زمینی را به روش سطح پاسخ بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که نقاط بهینه برای دفع آب، جذب مواد جامد، کاهش وزن و فعالیت آبی به ترتیب 59/1 (گرم در هر 100 گرم نمونه اولیه)، 6/0 (گرم در هر 100 گرم نمونه اولیه)، 52/9 (گرم در هر 100 گرم نمونه اولیه) و 0/785 می‌باشد (7). در پژوهشی محققینی بهینه‌سازی شرایط اسمز میوه انبه، بریده‌های این میوه را تحت تأثیر 4 تیمار

فرآیند اسمزی شامل دمای محلول اسمزی در محدوده 40 تا 60 درجه سانتی‌گراد در سه سطح دمایی 40، 50 و 60 درجه سانتی‌گراد، مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی در محدوده 60 تا 240 دقیقه در سطوح 60، 150 و 240 دقیقه و غلظت ساکارز در محلول اسمزی در محدوده 40 تا 60 در سه غلظت 40، 50 و 60 درجه بریکس تعیین گردید. برش‌ها پس از تهیه، توزین و بلافاصله مورد استفاده قرار گرفتند. در این مرحله سعی شد تا برش‌ها در کنار یکدیگر و درون ظرف‌های مخصوصی قرار گیرند. بعد از طی شدن زمان آبیگری نمونه‌ها از محلول خارج شده و سطح آنها با آب مقطر شسته شد و روی یک کاغذ صافی جهت جذب شدن آب سطحی قرار گرفت، سپس مجدداً نمونه‌ها توزین گردید. برای تعیین میزان رطوبت و ماده خشک، یک قطعه از نمونه در داخل آون در دمای  $103 \pm 0/5$  درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد.

**2-3- روش آماده‌سازی محلول‌ها و انجام آزمایشات**  
محلول‌هایی از ساکارز (درجه خلوص حدود 98/5 درصد) با غلظت‌های وزنی متفاوت تهیه گردید. غلظت محلول‌های ساکارز 40، 50 و 60 درصد (وزنی/وزنی) انتخاب گردید. در آزمایش‌ها نسبت وزنی نمونه به محلول اسمزی 1 به 10 انتخاب شدند و آزمایش‌ها در شرایط یکسان انجام گرفت. میزان کاهش آب<sup>1</sup> و درصد جذب مواد جامد<sup>2</sup>، میزان کاهش وزن، برش‌ها بر اساس توزین آنها در مراحل مختلف (قبل از آبیگری اسمزی، بعد از اسمز و بعد از خشک کردن در آون) از طریق معادلات (1)، (2) و (3) محاسبه گردید (4).  
رابطه (1)

$$WL = \frac{W_0 X_0 - W_t X_t}{W_0} \cdot 100 \quad \text{رابطه (2)}$$

$$SG = \frac{W_t S_t - W_0 S_0}{W_0} \cdot 100$$

ضخامت برش‌ها، زمان، غلظت و دما قرار دادند. نتایج نشان داد که شرایط بهینه برای آبیگری اسمزی برای دفع آب 30 %، جذب مواد جامد 8% و رطوبت نهایی 70% می‌باشد (10). امروزه شبکه‌ی عصبی مصنوعی به عنوان یک ابزار قدرتمند نقش مهمی در پیش‌بینی پارامترهای فرآیند ایفا می‌نماید. چندین تحقیق در زمینه‌ی کاربرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی در مدل‌سازی فرآیندهای مختلف انجام گرفت که می‌توان به مطالعات لرتوراسیریکول و سائتن (2010)، اوچائو - مارتینز و همکاران (2007) و آیدانی و همکاران (1392) اشاره نمود (1، 9 و 11). ولی هیچ‌گونه پژوهشی در این زمینه برای آبیگری اسمزی شلیل صورت نگرفته است. از آنجایی که بهینه خشک کردن محصولات کشاورزی از جنبه‌های مختلف مثل مصرف انرژی، کاهش ضایعات حاصل از زمان خشک کردن و مشتری‌پسندی حائز اهمیت است، لذا هدف از این مطالعه بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن اسمزی شلیل با استفاده از روش سطح پاسخ و تخمین پارامترهای آبیگری با شبکه عصبی مصنوعی بود.

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- آماده‌سازی ماده اولیه

برای انجام این آزمایش میوه‌های شلیل از بازار محلی شهرستان گنبد کاووس که بومی استان گلستان بود، خریداری گردید. نمونه‌ها در طول مدت انجام آزمایش در سردخانه مناسب نگهداری گردید. شلیل‌های مورد استفاده دارای رطوبت اولیه 89 درصد بر مبنای وزن تر بودند. رطوبت نمونه‌ها مطابق روش AOAC (1990) از طریق قرار دادن نمونه‌ها در آون معمولی و دمای  $103 \pm 0/5$  درجه سانتی‌گراد تا دست‌یابی به وزن ثابت اندازه‌گیری شد (3).

### 2-2- فرآیند خشک کردن اسمزی

جهت انجام فرآیند خشک کردن اسمزی ابتدا نمونه توسط یک کاتر تیز به ضخامت  $12 \pm 0/1$  میلی‌متر به صورت ورقه ورقه بریده شد. سپس با استفاده از یک کولیس ضخامت برش‌ها کنترل گردید. در آزمایش سعی شد میوه‌هایی که دارای بافت سفت و مناسب هستند، استفاده گردد. شرایط

1 - Water loss (WL)  
2 - Solid Gain (SG)

رابطه (3)

$$WR = \frac{w_i - w_f}{w_i}$$

که در این معادلات SG میزان جذب ماده جامد (%),  $S_{0i}$  مقدار ماده جامد نمونه اولیه ( $gr$ )،  $S_{1i}$  مقدار ماده جامد نمونه آبدگیری شده ( $gr$ )،  $W_{0i}$  جرم اولیه نمونه ( $gr$ )،  $W_{1i}$  جرم نمونه آبدگیری شده ( $gr$ )،  $X_{0i}$  رطوبت اولیه نمونه (%),  $X_{1i}$  رطوبت نمونه آبدگیری شده (%). و  $WR$  میزان کاهش وزن نمونه ها پس از فرآیند (%). می باشد.

برابر با تعداد عناصر بردار خروجی می باشد. خروجی هر

نورون توسط رابطه (4) تعریف می گردد:

$$a = f(\sum_{i=1}^n p_i w_{ji} + b_j) \quad (4)$$

در این رابطه  $w_{ji}$  مقدار وزن اتصال بین نورون  $j$ ام لایه مذکور با نورون  $i$ ام لایه قبل است که بیانگر اهمیت ارتباط بین دو نورون در دو لایه متوالی می باشد،  $b_j$  وزن مربوط به بایاس<sup>2</sup> برای نورون  $j$ ام،  $p_i$  مقدار خروجی از نورون  $i$ ام لایه قبل،  $a$  مقدار خروجی از نورون  $j$ ام و  $f$  تابع آستانه نورون  $j$ ام.

توابع زیادی در انتقال اعداد از لایه قبل به لایه بعد ممکن است مورد استفاده قرار گیرند. از جمله می توان به توابع تانژانت سیگموئید هیپربولیکی، گوس، تانژانت هیپربولیک، تابع همانی<sup>3</sup> و سکانت هیپربولیک را نام برد. ولی تابع تانژانت سیگموئید هیپربولیکی بیشترین استفاده را در مسائل مهندسی دارد. این تابع به صورت رابطه 5 می باشد:

رابطه (5)

$$f(z) = \frac{1}{1 + \exp(-z)}$$

برای تعیین بهترین چیدمان شبکه از دو معیار ضریب تبیین ( $R^2$ ) و خطای مربعات میانگین (MRE) استفاده شد، این معیارها توسط روابط (6) و (7) محاسبه می شوند.

رابطه (6)

$$MRE = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|(P_{ANN,i} - P_{exp,i})|}{P_{exp,i}} \right) \times 100$$

رابطه (7)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_{ANN,i} - P_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (P_{ANN,i} - MR_{ANN,i})^2}$$

در این معادلات،  $P_{ANN}$  مقدار پیش بینی شده برای پارامترهای خروجی از شبکه،  $P_E$  مقادیر داده های تجربی به دست آمده از آزمایش و  $N$  تعداد مشاهدات می باشد (6) و (12).

#### 4-2- روش تعیین نقشه آزمایش ها و مدل سازی فرآیند

##### خشک کردن اسمزی شلیل

در این بررسی محدوده متغیرها با توجه با اهداف مورد نظر یعنی بیشینه نمودن کاهش آب و نسبت دفع آب به جذب مواد جامد و کمینه نمودن جذب مواد جامد تعیین گردید. نقشه کلی آزمایشات به کمک نرم افزار Design Expert Ver. 6.02 با استفاده از مدل CCD<sup>1</sup> انجام گردید. نقشه آزمایشات طراحی شده در جدول 1 نمایش داده شده است. شبکه عصبی مصنوعی متشکل از مجموعه ای از نورون ها با ارتباطات داخلی بین یکدیگر می باشد که قادر است بر اساس اطلاعات و داده های ورودی، جواب های خروجی را تخمین بزند. شبکه های عصبی معمولاً به صورت لایه لایه و منظم ایجاد می گردند. اولین لایه که اطلاعات و داده های ورودی به آن وارد می گردد لایه ورودی نامیده می شود. لایه های میانی لایه های مخفی و آخرین لایه که جواب های خروجی از مدل را فراهم می نماید لایه خروجی نامیده می گردد. ساده ترین و معمول ترین نوع شبکه عصبی که در بسیاری از علوم مهندسی از جمله تحقیق حاضر استفاده می گردد، شبکه عصبی چند لایه پرسپترون همراه با ناظر که از روش پس انتشار خطا برای آموزش کمک می گیرد، می باشد. در این شبکه تعداد نورون های لایه ورودی برابر با تعداد عناصر بردار ورودی و تعداد نورون های لایه خروجی

2 -Bias

3 -Identity function

1 -Central Composite Design (CCD)

جدول 1- متغیرهای مستقل و غیر مستقل در فرآیند آبیگری اسمزی

متغیرهای مورد بررسی			پاسخ‌ها			
غلظت محلول (%) (X <sub>1</sub> )	دمای محلول اسمزی (°C) (X <sub>2</sub> )	زمان تماس (min) (X <sub>3</sub> )	WL (%)	SG (%)	WL/SG	WR
50(1)	50(1)	150(0)	40/77	3/88	10/49	36/89
50(1)	50(1)	150(0)	40/77	3/88	10/49	36/89
50(1)	50(1)	150(0)	40/77	3/88	10/49	36/89
40(-1)	60(1)	60(-1)	28/18	4/5	6/26	23/68
60(1)	40(-1)	60(-1)	33/14	11/81	2/8	21/31
50(0)	40(-1)	150(0)	43/16	1/95	35/23	36/49
50(0)	50(0)	240(1)	57/62	3/23	17/85	54/39
50(0)	50(0)	150(0)	40/77	3/88	10/49	36/89
50(0)	50(0)	150(0)	40/77	3/88	10/49	36/89
60(1)	50(0)	150(0)	42/85	7/21	6/9	42/61
60(1)	60(1)	60(-1)	52/69	14/87	3/54	37/83
40(-1)	50(0)	150(0)	33/11	2/97	11/15	30/14
40(-1)	60(1)	240(1)	62/15	9/36	6/64	52/79
60(1)	60(1)	240(1)	66/08	66/08	3/23	45/65
40(-1)	40(-1)	240(1)	42/84	3/57	11/98	39/27
40(-1)	40(-1)	60(-1)	17/83	1/56	11/45	16/28
50(0)	50(0)	150(0)	40/77	3/88	10/49	36/89
50(0)	60(1)	150(0)	62/52	7/56	8/29	54/95
50(0)	50(0)	60(-1)	27/83	15/21	1/83	12/62
60(1)	40(-1)	240(1)	51/84	12/41	4/18	39/43

### 3- نتایج و بحث

#### 3-1- تأثیر متغیرها بر درصد کاهش آب

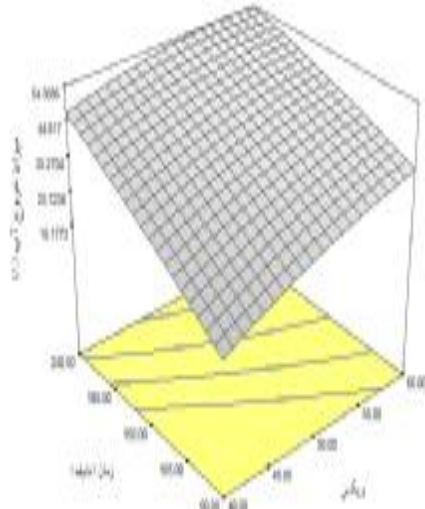
نتایج تجزیه رگرسیون خشک کردن اسمزی شلیل نشان داد که تمامی اثرات اول و اثرات درجه دوم و اثرات متقابل بر درصد کاهش آب معنادار بود ( $P < 0.05$ ). همانطور که در معادله مربوط به این پارامتر آورده شده است، بیشترین تأثیر بر درصد کاهش آب را زمان فرآیند اسمزی می‌گذارد. رابطه بین زمان تماس محلول اسمزی و محصول با دمای محلول اسمزی بیانگر افزایش میزان خروج آب از محصول

می‌باشد. این حالت به وضوح در شکل 1 نشان داده شده است. در واقع با افزایش زمان تماس، عوامل اسمزی قادر خواهند بود به میزان بیشتری در بافت شلیل نفوذ نمایند و در مقابل میزان آب بیشتری از بافت خارج شود. بدیهی است که این مسئله تا زمانی صورت می‌گیرد که تعادل بین خروج آب از محصول و نفوذ عوامل اسمزی به درون آن ایجاد شود. نتایج تأثیر غلظت محلول اسمزی با زمان تماس محصول و محلول اسمزی روندی مشابه قبل را نشان داد. تأثیر فاکتورهای دما و غلظت محلول اسمزی نیز روی میزان

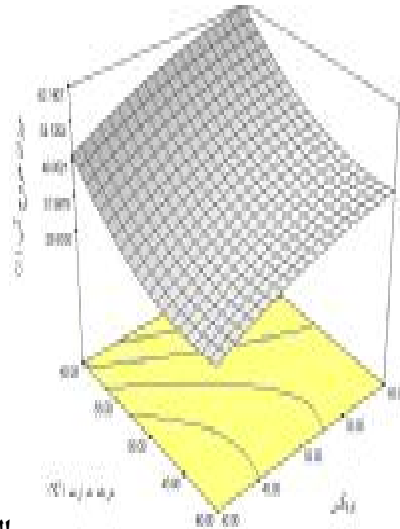
تحقیقات اخیر نشان داده است که افزایش غلظت محلول اسمزی منجر به افزایش درصد کاهش آب می شو (5). معادله تأثیر زمان تماس محصول و محلول اسمزی، دما و غلظت محلول اسمزی روی شاخص درصد کاهش آب برای داده های گد شده در زیر نشان داده شده است.

$$WL = +41.99 + 6.95 X_1 + 8.84 X_2 + 12.09 X_3 - 2.34 X_1^2 + 6.223 X_2^2 - 1.08 X_3^2 + 0.52 X_1 X_2 - 3.36 X_1 X_3 + 0.45 X_2 X_3$$

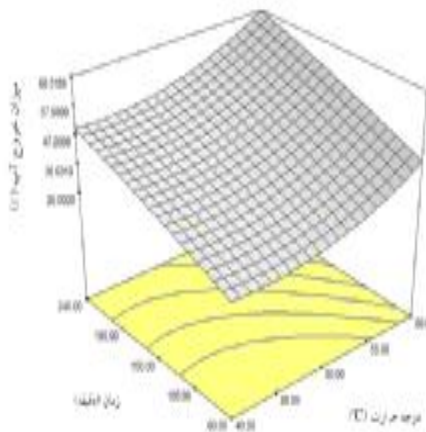
خروج آب صعودی بود که این موضوع در شکل 1 نشان داده شده است. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات آیدانی و همکاران (1392) مطابقت دارد (1). علت اینکه با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان آب بیشتری از نمونه ها خارج می شود این است که با افزایش غلظت محلول اسمزی فشار اسمزی محلول غلیظ تر افزایش می یابد و در نتیجه نیاز به جریان حجم بیشتری از آب در جهت رسیدن به تعادل است.



(ب)



(الف)



(ج)

شکل 1- نمودار های سه بعدی: تأثیر (الف) غلظت و دما، (ب) غلظت و زمان و (ج) دما و زمان بر درصد کاهش آب نمونه

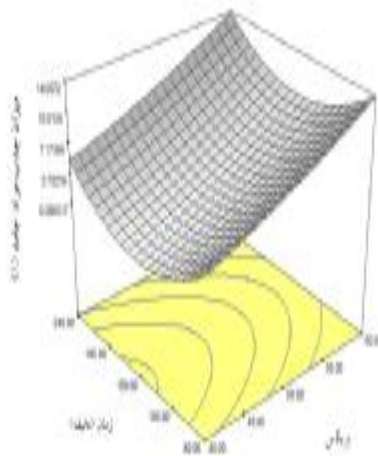
شلیل

### 2-3- تأثیر متغیرها بر درصد جذب مواد جامد

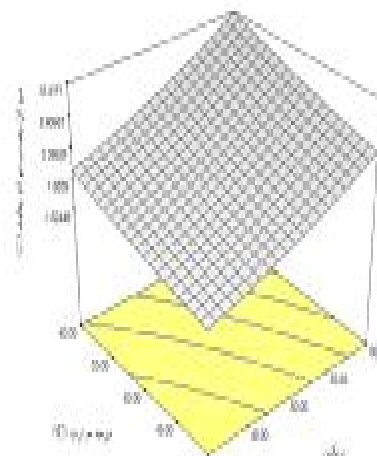
رابطه بین زمان تماس محلول اسمزی و محصول با دمای محلول اسمزی بیانگر افزایش درصد جذب مواد جامد محصول اولیه می‌باشد. این حالت به وضوح در شکل 2 نشان داده شده است. علت این پدیده این است که انتشار یک پدیده وابسته به دما است و رابطه ضریب انتشار با دما رابطه‌ای از نوع آرنیوس می‌باشد و دمای بالاتر باعث انتشار سریعتر آب در ماده غذایی می‌شود و همچنین به علت کمتر شدن ویسکوزیته محلول اسمزی در دمای بالاتر انتقال جرم در سطح ماده غذایی بهتر صورت می‌گیرد (8). همچنین نتایج تأثیر غلظت محلول اسمزی با زمان تماس محصول و

محلول اسمزی روندی مشابه قبل را نشان داد. تأثیر فاکتورهای دما و غلظت محلول اسمزی نیز بر درصد جذب مواد جامد صعودی بود که این موضوع در شکل 2 نشان داده شده است. معادله تأثیر زمان تماس محصول و محلول اسمزی، دما و غلظت محلول اسمزی روی شاخص درصد جذب مواد جامد برای داده‌های گد شده در زیر نشان داده شده است که مشخص گردید بیشترین اثر را بر درصد جذب مواد جامد، پارامتر درجه دوم غلظت محلول اسمزی می‌گذارد.

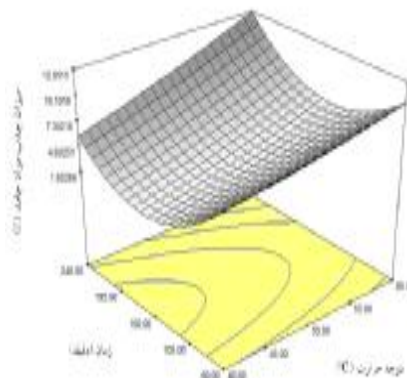
$$SG = +4.10 + 4.48X_1 + 2.54X_2 + 0.10X_3 + 0.67X_1^2 + 0.33X_2^2 + 4.79X_3^2 + 0.29X_1X_2 - 0.90X_1X_3 + 0.98X_2X_3$$



(ب)



(الف)



(ج)

شکل 2- نمودارهای سه بعدی: تأثیر (الف) غلظت و دما، (ب) غلظت و زمان و (ج) دما و زمان بر درصد جذب مواد جامد شلیل

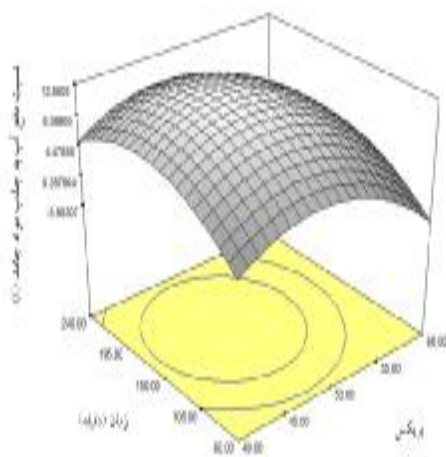
نتایج نشان داد که افزایش دما و غلظت محلول اسمزی نیز تأثیر معنادار بر نسبت دفع آب به جذب مواد جامد داشت. معادله تأثیر زمان تماس محصول و محلول اسمزی، دما و غلظت محلول اسمزی روی شاخص کاهش آب به جذب مواد جامد برای داده های کُد شده در زیر نشان داده شده است.

$$WL/SG = +12.44 - 2.68X_1 - 3.77X_2 + 1.80X_3 - 6.63 X_1^2 + 6.39 X_2^2 - 5.51 X_3^2 + 1.29 X_1X_2 + 0.019X_1X_3 - 0.23X_2X_3$$

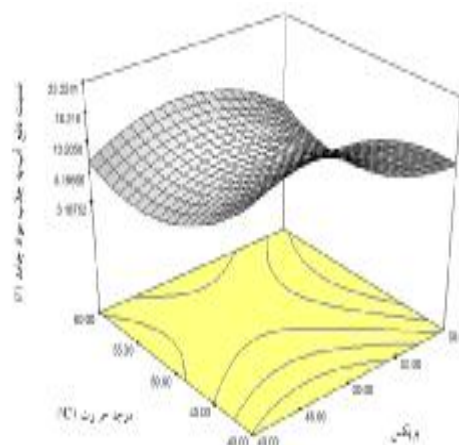
### 3-3- تأثیر متغیرها بر نسبت دفع آب به جذب مواد

#### جامد

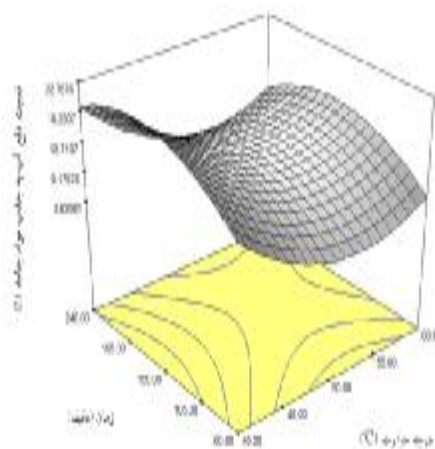
با توجه به تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده، مشخص گردید که پارامتر درجه دوم غلظت و بعد از آن پارامتر درجه دوم درجه حرارت بیشترین اثرگذاری را بر نسبت دفع آب به جذب مواد جامد دارا بودند. رابطه بین غلظت محلول اسمزی با دمای محلول اسمزی بیانگر آن بود که ابتدا نسبت دفع آب به جذب مواد جامد در ابتدای فرآیند خشک کردن افزایش ولی بعد از مدتی کاهش می یابد. همچنین



(ب)



(الف)



(ج)

شکل 3- نمودارهای سه بعدی: تأثیر (الف) غلظت و دما، (ب) غلظت و زمان و (ج) دما و زمان بر نسبت کاهش آب به جذب مواد جامد شلیل

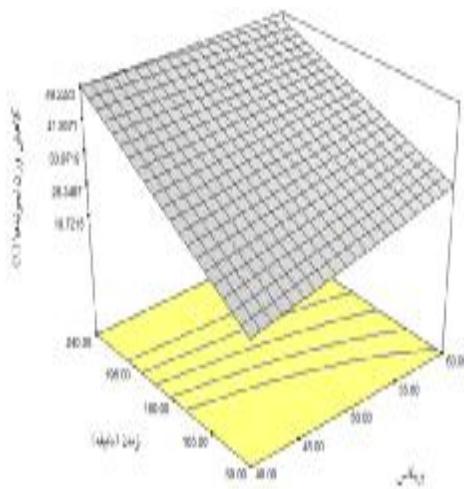


### 3-4- تأثیر متغیرها بر میزان کاهش وزن نمونه‌ها بعد از فرآیند

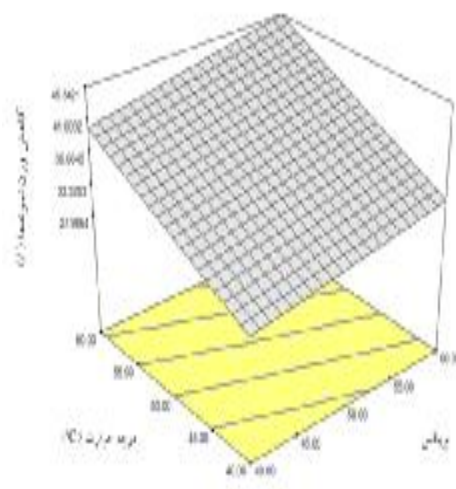
نتایج تجزیه رگرسیون خشک کردن اسمزی شلیل نشان داد که اثرات درجه دوم عوامل مورد بررسی بر میزان کاهش وزن نمونه‌ها معنادار نبود ( $P > 0.05$ ). نمودار تأثیر دما و زمان محلول‌گذاری محصول روی میزان کاهش وزن نمونه‌ها نشان داد که با افزایش دما و گذر زمان میزان کاهش وزن نمونه‌ها نسبت به محصول اولیه افزایش می‌یابد. علت این پدیده به دلیل کمتر شدن ویسکوزیته محلول اسمزی در دمای بالاتر و در نتیجه انتقال بهتر جرم در سطح

ماده غذایی می‌باشد (8). همچنین نتایج تأثیر غلظت محلول اسمزی با زمان تماس محصول و محلول اسمزی روندی مشابه قبل را نشان داد. تأثیر فاکتورهای دما و غلظت محلول اسمزی نیز روی میزان کاهش وزن نمونه‌ها صعودی بود که این موضوع در شکل 4 نشان داده شده است. معادله تأثیر زمان تماس محصول و محلول اسمزی، دما و غلظت محلول اسمزی روی شاخص کاهش وزن نمونه‌ها برای داده‌های گد شده در زیر نشان داده شده است.

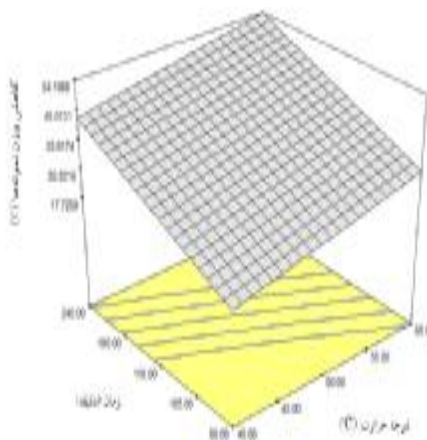
$$WR = 36.44 + 2.67 X_1 + 6.21 X_2 + 11.98 X_3 + 0.22 X_1X_2 - 3.27X_1X_3 - 0.52 X_2X_3$$



(ب)



(الف)



(ج)

شکل 4- نمودارهای سه بعدی: (الف) غلظت و دما، (ب) غلظت و زمان و (ج) دما و زمان بر کاهش وزن نمونه‌ها

## 3-5- بهینه سازی فرآیند خشک کردن اسمزی شلیل

کمینه نمودن میزان جذب مواد جامد و بیشینه نمودن درصد کاهش آب و نسبت دفع آب به جذب مواد جامد به عنوان اهداف مورد نظر آزمایشات در تجزیه و تحلیل های آماری مورد نظر قرار گرفت و بدین منظور شرایط برای انجام

فرآیند بهینه سازی با روش سطح پاسخ به صورت زیر به دست آمد: مقادیر بهینه برای متغیرها شامل زمان قرارگیری نمونه شلیل در محلول اسمزی 240 دقیقه، دمای محلول اسمزی 40 سانتی گراد و غلظت محلول اسمزی ساکارز 40/26 درجه بریکس می باشد (جدول 2).

جدول 2- شرایط بهینه برای متغیرها و پاسخ در طی فرآیند آبیگری اسمزی شلیل

ردیف	غلظت محلول (%)	دمای محلول اسمزی (°C)	زمان تماس (min)	WL (%)	SG (%)	WL/SG	WR	مطلوبیت
1	40/26	40	240	40/77	2/56	16/97	43/73	0/765

## 3-6- مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی

در این پژوهش علاوه بر بهینه سازی پارامترهای مؤثر در آبیگری اسمزی به کمک روش شناسی سطح پاسخ، مقادیر جذب مواد جامد، کاهش آب، نسبت کاهش آب به جذب مواد جامد و میزان کاهش وزن توسط شبکه ی عصبی مصنوعی پیش بینی گردید. برای انجام این عمل ترکیبی از لایه ها و نرون های مختلف برای مدل سازی شبکه عصبی پرسپترون مورد استفاده قرار گرفت. شبکه ی عصبی با یک و دو لایه پنهان، تعداد 2 تا 10 نرون به طور تصادفی انتخاب و قدرت شبکه در پیش بینی پارامترهای اسمزی شلیل تخمین زده شد. برای ایجاد شبکه پس انتشار پیش خور، تابع فعال سازی تانژانت سیگموئید هیپربولیکی برای لایه ورودی به لایه پنهان اول و از پنهان اول به پنهان دوم و تابع فعال سازی خطی برای لایه خروجی استفاده شد.

همچنین الگوی یادگیری لوبنرگ -مارکوات، چرخه یادگیری 1000 و دو معیار ارزیابی ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و میانگین مربعات خط (MSE) برای ایجاد و ارزیابی شبکه استفاده شد. در ضمن در این فرآیند 60 درصد داده ها جهت آموزش، 15 درصد به منظور اعتبار سنجی و 25 درصد نیز برای تست شبکه طراحی شده به کار گرفته شد. بررسی نتایج به دست آمده در خصوص شبکه عصبی نشان داد که شبکه ای با یک لایه پنهان حاوی 4 نرون یعنی چیدمان 4-4-3 (شبکه ای با 3 ورودی، 4 گره (نورون) در لایه پنهان و 4 خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش بینی خروجی های مورد نظر دارد (جدول 3). این شبکه با مقدار ضریب همبستگی 0/921 و میانگین مربعات خطای 0/0191 بالاترین دقت را در بین توپولوژی های در نظر گرفته شده از خود نشان داد.

جدول 3- نتایج شبکه‌ی عصبی پرسپترون در پیش‌بینی ویژگی‌های اسمزی شلیل

تعداد نوروں در لایه‌های پنهان		R <sup>2</sup>	MSE
اول	دوم		
2	-	0/876	0/0271
3	-	0/733	0/0674
4	-	0/921	0/0191
5	-	0/718	0/0488
6	-	0/846	0/0563
7	-	0/774	0/0409
8	-	0/790	0/0971
9	-	0/680	0/0815
10	-	0/773	0/0355
-	2	0/773	0/0891
-	3	0/722	0/0422
-	4	0/896	0/0276
-	5	0/845	0/0462
-	6	0/054	0/1065
-	7	0/899	0/0056
-	8	0/658	0/1293
-	9	0/823	0/0576
-	10	0/679	0/1523

#### 4- نتیجه‌گیری

روش سطح پاسخ برای تعیین شرایط بهینه شاخص‌های فرآیند آبگیری اسمزی نمونه شلیل با هدف بیشینه نمودن کاهش آب و نسبت دفع آب به جذب مواد جامد و کمینه نمودن جذب مواد جامد مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای فرآیند آبگیری اسمزی شامل زمان تماس محلول اسمزی با محصول، دمای محلول اسمزی و غلظت محلول اسمزی بود. نتایج نشان داد که شرایط بهینه زمانی ایجاد می‌گردد که متغیرهای فرآیند آبگیری اسمزی نمونه شلیل یعنی زمان تماس محلول اسمزی و محصول، غلظت محلول اسمزی و دمای محلول اسمزی به ترتیب 240 دقیقه، 40/26 درجه بریکس و 60 سانتی‌گراد باشد. مطلوبیت به‌دست آمده در شرایط بهینه برای متغیرها و پاسخ‌ها مورد بررسی

0/769 گزارش گردید. همچنین در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین پارامترهای فرآیند آبگیری اسمزی شلیل استفاده گردید. نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه‌ای با یک لایه پنهان حاوی 4 نوروں یعنی چیدمان 4-4-3 (شبکه‌ای با 3 ورودی، 4 گره نوروں) در لایه پنهان و 4 خروجی، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد.

#### 5- تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت معاونت آموزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گنبد کاووس و همچنین دانشجویان گروه علوم و صنایع غذایی آن دانشگاه انجام شده است. به همین منظور نویسندگان مراتب قدردانی و سپاسگزاری خود را از مدیریت محترم گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه

osmotic dehydration of kaffir lime peel. *Journal of Food Engineering*, 98, 214-223.

10. Madamba, P.S. and Lopez, R.I. 2002. Optimization of the osmotic dehydration of mango (*mangifera indica* L.) slices. *Drying Technology*. 20 (6): 1227-1242.
11. Ochoa-Martinez, C. I. and Ayala-Apaonte, A. 2007. Prediction of mass transfer kinetics during osmotic dehydration of apples using neural networks. *LWT-Food Science and Technology*. 40: 638-645.
12. Poonnoy, P., Tansakul, A. and Chinnan, M. 2006. Artificial Neural Network Modeling for Temperature and Moisture Content Prediction in Tomato Slices Undergoing Microwave-Vacuum Drying. *Journal of Food Engineering & Physical properties*, 49: 185-191.
13. Rastogi, N. K., Raghavarao, K.S.M.S. and Niranjana, K. 2005. Developments in osmotic dehydration., In: Sun, D.W. (ed.), *Emerging technologies for food processing*. Elsevier Academic Press, California, 221-223.
14. Sacilik, K., Elicin, A. K. and Unal, G. 2006. Drying kinetics of Uryani plum in a convective hot-air dryer. *Journal of Food Engineering*. 76: 362-368.
15. Seiedlou, S., Ghasemzadeh, H. R., Hamdami, N., Alati, F.T. and Moghaddam, M. 2010. Convective drying of apple: mathematical modeling and determination of some quality parameters. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12: 171-178.
16. Szeto, Y.T., Tomlinson, B. and Benzie, I.F.F. 2002. Total antioxidant and ascorbic acid content of fresh fruits and vegetables: Implication for dietary planning and food preservation. *British Journal Nutrition*. 87: 55-59.
17. Tarhan, S. 2007. Selection of chemical and thermal pretreatment combination for plum drying at low and moderate drying air temperatures. *Journal of Food Engineering*. 79: 255-260.
18. USDA. 2016. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Office of Global

آزاد اسلامی واحد گنبد کاووس جناب آقای دکتر رجیبی و همچنین خانمها ازونی و مقدم نژاد اعلام می‌دارند.

## 6- منابع

1. آیدانی، ع، کاشانی نژاد، م، مختاریان، م. و بخش آبادی، ح. 1392. بهینه سازی فرآیند آبگیری اسمزی پرتقال و تخمین پارامترهای آبگیری با کمک شبکه ی عصبی مصنوعی. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران. 9(3): 214-202.
2. خوشخوی، م، شیبانی، ب، روحانی، ا. و تفضلی، ع. 1376. اصول باغبانی. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه شیراز. 553 صفحه.
3. AOAC. 1990. Official Method of Analysis. 15<sup>th</sup> ed., Vol. 2. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington.
4. Chenlo, F., Moreira, R., Fernandez, C. and Vazquez, G. 2006b. Experimental results and modeling of the osmotic dehydration kinetics of chestnut with glucose solutions. *Journal of Food Engineering*. 74(3): 324-334.
5. Chenlo, F., Moreira, R., Fernandez-Herrero, C. and Vazquez, G. 2006a. Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions. *Journal of Food Engineering*. 73: 164-173.
6. Dolatabadi, Z., Elhami Rad, A.H., Farzaneh, V., Akhlaghi Feizabad, S.H., Estiri, S.H. and Bakhshabadi, H. 2016. Modeling of the lycopene extraction from tomato pulps. *Food Chemistry*. 190: 968-973.
7. Eren, I. and Kaymak-Ertekin, F. 2007. Optimization of Osmotic Dehydration of Potato Using Response Surface Methodology. *Journal of Food Engineering*. 79: 344-352.
8. Lazarides, H.N. and Mavroudis, N.E. 1996. Kinetics of osmotic dehydration of a highly shrinking vegetable tissue in a salt-free medium. *Journal of Food Engineering*. 30: 61-74.
9. Lertworasirikul, S. and Saetan, S. 2010. Artificial neural network modeling of mass transfer during

Analysis . International Production  
Assessment Division. Washington,  
DC, USA