

# بهینه‌سازی عوامل مؤثر (گلوکز اکسیداز، اسیدآسکوربیک و صمغ گوار) بر خواص رئولوژیکی خمیر حاصل از آرد گندم با بکارگیری روش سطح پاسخ

شروین اسدزاده<sup>1\*</sup>، الناز نظری فر<sup>2</sup>

1- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

2- کارشناس ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: 96/12/08

تاریخ دریافت: 96/04/21

## چکیده

هدف از این پژوهش، ارزیابی تأثیر آنزیم گلوکز اکسیداز، اسیدآسکوربیک و صمغ گوار بر برخی خواص رئولوژیکی خمیر گندم اعم از کشش و مقاومت می‌باشد. به منظور تعیین مقادیر بهینه دو متغیر پاسخ کشش و مقاومت به صورت جداگانه و هم‌زمان (بهینه‌سازی تک هدفه و چندهدفه)، از روش سطح پاسخ به‌عنوان یکی از روش‌های طراحی و تحلیل آزمایشات استفاده شد. سطوح هر یک از سه عامل مذکور برابر با دو در نظر گرفته شد و لذا تعداد تیمارها برابر با 8 بود. طرح آزمایشی مناسب، طرح مکعب مرکزی است که با در نظر گرفتن سه عامل با یک تکرار و تکرار نقاط مرکزی به تعداد چهار بار، تعداد آزمایشات لازم برابر با هجده در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از پژوهش و برازش مدل‌های رگرسیونی نشان داد که به‌کارگیری روش سطح پاسخ به تعیین مقادیر بهینه و عوامل مؤثر در تولید نان منجر می‌شود که از مهمترین دستاوردها در صنعت غلات می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** صمغ گوار، گلوکز اکسیداز، اسیدآسکوربیک، روش سطح پاسخ، گندم ضعیف.

## 1- مقدمه

نقش عمده نان در رژیم غذایی جامعه‌ی ایرانی و الزام دولت در جهت استفاده از گندم‌های داخلی و پایین بودن کیفیت این گندم‌ها به دلیل شرایط آب و هوایی و نوع خاک، انجام اقداماتی در جهت بهبود کیفیت آرد گندم را ضروری می‌سازد (8,7). ویژگی‌های گندم در درجه‌ی اول تحت تأثیر عواملی مانند شرایط جوی محل کاشت، انواع کود، نوع برداشت و غیره قرار می‌گیرد که هر یک از این عوامل و تغییرات می‌توانند به نحوی کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار دهند (3). یکی از عمده‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت نان، کیفیت گلوتن<sup>1</sup> گندم است. عواملی مانند سن زدگی<sup>2</sup> که بیشتر مورد توجه این تحقیق است، به کیفیت آسیاب کردن گندم و پخت محصولات صدمات زیادی وارد می‌آورد. سن زدگی و آلودگی گندم به آنزیم پروتئاز بزاق حشره سن، موجب تجزیه و تضعیف گلوتن می‌شود، به گونه‌ای که شبکه گلوتنی در خمیر حاصل از آن توانایی نگهداری گازهای تولیدی (در اثر فعالیت مخمرها) را ندارد (مقاومت<sup>3</sup> خمیر) و در زمان تخمیر سبب ازهم گسسته شدن خمیر می‌شود (کشش<sup>4</sup> خمیر). لذا مقاومت و کشش خمیر دو متغیر کلیدی خروجی در بررسی کیفیت خمیر می‌باشند. بنابراین برای مواجهه با این مشکل، تأثیر افزودن سه ترکیب بهبود دهنده گلوکز اکسیداز<sup>5</sup>، صمغ گوار<sup>6</sup> و اسید آسکوربیک<sup>7</sup> به آرد ضعیف مورد آزمایش قرار گرفت تا عوامل تأثیرگذار و مقدار بهینه آن‌ها برای متغیرهای پاسخ<sup>8</sup> حجم و کشش با استفاده از روش سطح پاسخ<sup>9</sup> و طرح مکعب مرکزی<sup>10</sup> تعیین گردد. کامپوز و همکاران (2016) با استفاده از روش سطح پاسخ و طرح مکعب مرکزی به بررسی اثر عواملی نظیر دمای استخراج، زمان استخراج و

نسبت آب به دانه بر عملکرد، قوام ظاهری، ثبات امولسیون و رنگ موسیلاژ دانه چیا<sup>11</sup>، پرداختند. نتایج حاصل از استفاده از روش سطح پاسخ حاکی از آن بود که موسیلاژ دانه چیا که تحت شرایط بهینه استخراج شده بود می‌تواند در فرمولاسیون بستنی به‌عنوان یک امولسیفایر و تثبیت‌کننده باشد (14). یلمه و همکاران (1395) جهت بهینه‌سازی فرآیند استخراج رنگ آناتو به‌عنوان دومین افزودنی رنگ طبیعی با کمک امواج فراصوت و تعیین بهترین شرایط فرآیندی از طرح مکعب مرکزی و روش سطح پاسخ استفاده کردند (13). قنادزاده و همکاران (1390) به منظور بررسی چگونگی تولید اتانول از طریق تخمیر قند موجود در آب پنبه و تعیین شرایط بهینه فاکتورهای مؤثر در تولید اتانول در محیط کشت ناپیوسته، از روش سطح پاسخ استفاده کردند و به شرایط عملیاتی بهینه برای فرآیند تولید اتانول دست یافتند (10). کاظم‌زاده و همکاران (1393) نیز به منظور بهینه‌سازی فرآیند تولید ماست تغلیظ شده از روش طراحی آزمایشات استفاده کردند (2). هراتی و همکاران (1396) به منظور تعیین شرایط بهینه فرآیند تولید پاستیل از میوه زرشک بی‌دانه از روش سطح پاسخ استفاده کردند و به مقادیر بهینه برای دو فاکتور خروجی گوار و ژلاتین دست یافتند (12). سلیمانی و همکاران (1395) با استفاده از روش سطح پاسخ و طرح مکعب مرکزی با شش تکرار در نقاط مرکزی به شرایط بهینه برای فرآیند تولید پودر خرما دست یافتند (6). عبادتی و همکاران (1395) به منظور تولید پودر دوغ با روش خشک کردن کف‌پوشی و تعیین مقادیر بهینه متغیرهای پاسخ تحت عوامل ورودی دما و درصد ترکیبات کف‌زا از روش سطح پاسخ استفاده کردند (9). از روش سطح پاسخ در صنایع غلات استفاده‌های زیادی شده است. شفیعی سلطانی و همکاران (2014) طی پژوهشی در رابطه با بهینه‌سازی خواص رئولوژیکی خمیر گندم با استفاده از روش سطح پاسخ به این نتیجه رسیدند که گلوکز اکسیداز و زایلاناز بر بهبود کیفیت نان و خمیر تأثیر داشته اما اثرات وابسته به دوز بود. در این تحقیق، دوز مناسب گلوکز

<sup>1</sup> Gluten<sup>2</sup> Eurygaster integriceps<sup>3</sup> Resistance<sup>4</sup> Extension<sup>5</sup> glucose oxidase<sup>6</sup> Guar gum<sup>7</sup> Ascorbic acid<sup>8</sup> Response<sup>9</sup> Response Surface Methodology(RSM)<sup>10</sup> Central Composite Design(CCD)<sup>11</sup> Salvia hispanica

گلوتن ضعیف یا آردهای با درصد گلوتن پایین، بسیار کمک کننده است و باعث بهبود حجم و بافت نان می شود. صمغ گوار پودر سفید مایل به زردی است که در آب داغ یا سرد قابل پخش شدن است و در صنایع غذایی به عنوان عامل ژل کننده، ویسکوز دهنده و افزایشده غلظت، چسباننده و پایدار کننده و گاه جهت حفظ رطوبت موجود در فیبرهای محصول به کار می رود. اسید اسکوربیک، در گروه مواد اکسیدکننده قرار دارد و موجب تقویت و توسعه شبکه گلوتنی و تسهیل و تسریع در عمل آوری خمیر می شود. همچنین از دو دستگاه اکسنسوگراف<sup>3</sup> و فارینوگراف<sup>4</sup> جهت انجام آزمایشات مربوطه استفاده شد.

## 2-2- روش‌ها

### 2-2-1- روش آماده سازی خمیر گندم

با توجه به آزمایشات طراحی شده و مورد نیاز، تیمارهای ارائه شده در آزمایشگاه آماده شدند. سپس 300 گرم از نمونه آماده شده به همراه 6 گرم نمک، در داخل همزن دستگاه ریخته شد و به مدت یک دقیقه به طور یکنواخت مخلوط گردید. بعد از یکنواخت شدن آرد، به آرامی با استفاده از بورت دستگاه آب به آرد افزوده و نمودار جذب آب شروع به رسم شد. سرعت افزودن آب باید به گونه‌ای باشد که در کمتر از سه دقیقه نمودار فارینوگراف به خط 500 واحد فارینوگراف<sup>5</sup> (FU) برسد (FU واحد قراردادی برای دستگاه فارینوگراف می باشد). مدت زمان این آزمایش 5 دقیقه بود. برای تعیین کشش و مقاومت خمیر، دو نمونه از خمیر گندم حاصل از هر تیمار، در داخل دستگاه اکسنسوگراف قرار داده شد.

### 2-2-2- روش انجام آزمون‌ها

آزمون فارینوگراف طبق استاندارد AACC به شماره 54-21 توسط دستگاه فارینوگراف انجام شد. دستگاه فارینوگراف، با ثبت و ضبط نحوه میکس شدن آرد و مقاومت ظاهر شده در آرد (در حال خمیر شدن) در سرعت و دمای ثابت تا رسیدن خمیر به قوام مطلوب و در نهایت با

اکسیداز و زایلاناز به ترتیب 30 و 20 هزار در یک میلیون<sup>1</sup> برآورد شد (18). متینی و همکاران (1395) نیز اثر افزودن پودر آب پنیر و آرد چاودار به آرد گندم با درصد استخراج 72 تا 92 بر فاکتورهای فارینوگراف و اکسنسوگراف را با استفاده از روش سطح پاسخ مورد بررسی قرار دادند (11). نتایج نشان داد افزایش درصد استخراج آرد گندم موجب افزایش جذب آب و سفتی و کاهش مقاومت گردید. نهایتاً جلدانی و همکاران (1396) به منظور بررسی اثر افزودن آرد کامل کینوا و صمغ زانتان به فرمولاسیون نان بربری جهت تهیه یک فرآورده با ارزش تغذیه‌ای بالا از روش سطح پاسخ و طرح چرخش پذیر مرکب مرکزی استفاده کردند (5). متغیرهای مستقل شامل صمغ زانتان و آرد کامل کینوا<sup>2</sup> بود. متغیرهای وابسته شامل ویژگی‌های شیمیایی (رطوبت، خاکستر، چربی، پروتئین) و ویژگی‌های حسی نان بربری بود. نتایج نشان داد با افزودن آرد کامل کینوا به نان بربری میزان خاکستر، پروتئین و چربی به طور معنی داری افزایش یافت و افزودن صمغ زانتان سبب افزایش در میزان رطوبت نمونه‌های نان شد. پر واضح است در صورت عدم استفاده از روش سطح پاسخ نه تنها هزینه و زمان بیشتری صرف انجام آزمایشات می گردد، بلکه پس از جمع آوری داده‌ها نیز تحلیل آن‌ها دشوارتر بوده و بعضاً با تفسیر اشتباه نتایج همراه می باشد. لذا در این پژوهش، سعی شد تا به بررسی تأثیر سه عامل گلوکز اکسیداز، اسیدآسکوربیک و صمغ گوار بر کشش و مقاومت خمیر گندم بپردازیم که در این راستا از طرح مکعب مرکزی استفاده خواهیم کرد.

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- مواد

مواد مصرفی برای انجام این آزمایش شامل آرد گندم ضعیف با کیفیت پایین، گلوکز اکسیداز، صمغ گوار و اسید آسکوربیک بود. آنزیم گلوکز اکسیداز باعث افزایش قدرت خمیر می شود. این خاصیت آنزیم گلوکز اکسیداز بخصوص در هنگام تولید نان های حجیم از آرد های با

<sup>3</sup> Extensograph

<sup>4</sup> Farinograph

<sup>5</sup> Farinograph unit (FU)

<sup>1</sup> Part Per Million (PPM)

<sup>2</sup> Quinoa

تعیین جذب آب در مدت‌زمان مشخص، اطلاعات دقیقی را از واکنش رئولوژیکی خمیر در اختیار ما قرار داد. آزمون اکستنسوگراف نیز طبق استاندارد AACCC به شماره 10-54 توسط دستگاه اکستنسوگراف انجام شد. در دستگاه اکستنسوگراف عملکرد گازهای تولیدشده در تخمیر که حاصل از عواملی چون تجزیه قندها یا تجزیه نشاسته می‌باشد در خمیر مورد آزمایش، ارزیابی شد و همین‌طور قدرت نگهداری گاز توسط خمیر با بررسی میزان کشسانی گلوتن مورد بررسی قرار گرفت. این مورد شامل بررسی اطلاعات حاصله از تغییرات گلوتن در مدت‌زمان تخمیر، بررسی تنش‌های مکانیکی واردشده به خمیر در اثر نیروی کششی دستگاه، میزان انرژی صرف شده جهت کشش خمیر و نسبت میان قابلیت کشش و مقاومت ظاهرشده بود که قادر بود پارامترهای تأثیرگذار در پخت را به‌صورت مجزا بررسی کند (4). دو نمونه از هر تیمار ابتدا به مدت 45 دقیقه در محفظه تخمیر تعبیه شده در دستگاه اکستنسوگراف برای استراحت قرار گرفت. پس از اتمام 45 دقیقه اول خمیر مورد نظر به قلاب دستگاه انتقال یافت و با شروع به کار دستگاه قلاب به طرف پایین حرکت کرد و منحنی اکستنسوگراف شروع به رسم شد و با پاره شدن خمیر نمودار متوقف گشت. این مرحله برای نمونه دوم نیز انجام شد. سپس مجدداً خمیر دوبار دیگر به مدت 45 دقیقه در محفظه قرار گرفت و این مراحل تکرار شد. در پایان آزمایش برای هر تیمار، نمودار اکستنسوگراف در 3 مرحله و 6 منحنی قابل بررسی بود.

### 3- طراحی آزمایش‌ها به کمک روش سطح پاسخ

طراحی آزمایشات<sup>1</sup> یک ابزار بسیار مهم در دنیای مهندسی برای بهبود فرآیند تحقق محصولات است. در همه فرآیندها، آزمایش به‌منظور کسب اطلاعات در مورد آن فرآیند یا سیستم خاص انجام می‌شود. هر آزمایش شامل یک سری ورودی و خروجی است که یک فرآیند میانی با استفاده از داده‌های ورودی و انجام عملیات بر روی آن، متغیرهای خروجی یا متغیر پاسخ را تولید می‌کند (15).

استفاده صحیح از روش‌های طراحی آزمایشات در فرآیند توسعه محصول می‌تواند منجر به بهبود بازده فرآیند، کاهش تغییرپذیری، انطباق نزدیکتر به مقدار اسمی، کاهش زمان توسعه و کاهش هزینه‌های کلی شود. از کاربردهای طراحی آزمایشات در طراحی مهندسی می‌توان به مدل‌سازی و بهینه‌سازی اشاره کرد. روش سطح پاسخ، یک مجموعه از تکنیک‌های آماری و ریاضیات کاربردی برای ساخت مدل‌های تجربی است. هدف در طرح‌های سطح پاسخ، بهینه‌سازی پاسخ (متغیر خروجی) است که تحت تأثیر چندین متغیر مستقل (متغیرهای ورودی) قرار می‌گیرد (16). روش سطح پاسخ با کاهش تعداد آزمایشات لازم امکان ارزیابی پارامترهای متعدد، برهمکنش بین آن‌ها (اثرات متقابل<sup>2</sup>)، برازش مدل‌های درجه دوم<sup>3</sup> و بهینه‌سازی متغیر پاسخ را نیز فراهم می‌نماید. در بهینه‌سازی فرآیندهای استخراجی که در آن چند فاکتور مؤثر است، روش سطح پاسخ کارایی بالایی را از خود نشان می‌دهد (17، 19). روش سطح پاسخ بسته به کاربرد به روش‌های متفاوتی طبقه‌بندی می‌گردند که یکی از این روش‌ها طرح‌های مکعب مرکزی است (16). در این پژوهش ابتدا پارامترهای تأثیرگذار انتخاب و سپس بهینه‌سازی متغیرهای پاسخ به‌صورت مجزا و هم‌زمان (بهینه‌سازی چند هدفه) انجام شد. با توجه به این که هدف تحقیق، بررسی تأثیر افزودن بهبوددهنده‌ها بر روی خواص رئولوژیکی آرد اعم از مقاومت و کشش است، سه فاکتور صمغ گوار، اسید آسکوربیک و گلوکز اکسیداز به‌عنوان مهم‌ترین پارامترها (فاکتورها) در نظر گرفته شد. همچنین طرح مکعب مرکزی که یکی از طرح‌های پرکاربرد و مهم در روش سطح پاسخ می‌باشند مورد استفاده قرار گرفته است. شایان‌ذکر است که مقدار پارامتر آلفا<sup>4</sup> برابر با یک در نظر گرفته شده است. بنابراین طرح مربوطه همان طرح Face-Centered می‌باشد. با توجه به شرایط آزمایش هر یک از سه فاکتور در سه سطح مورد بررسی قرار گرفتند که مقادیر آن‌ها در جدول 1 گزارش شده است.

<sup>2</sup> Interaction

<sup>3</sup> Second- Order model

<sup>4</sup> Rotatability

<sup>1</sup> Design Of Experiment (DOE)

لازم به ذکر است با در نظر گرفتن 4 تکرار در نقاط مرکزی، تعداد آزمایشاتی لازم به کمک نرم افزار مینی تب، 18 است. برای هر تیمار، سه عدد مجزا برای خروجی‌های مورد نظر اعم از مقاومت (مقاومت خمیر در 5 سانتی متر اول کشش در نظر گرفته می‌شود.) و کشش قابل مشاهده است که بیانگر رفتار خمیر در زمان‌های مختلف استراحت خود می‌باشد. برای تسهیل در تحلیل خروجی‌ها میانگین این سه زمان به‌عنوان مقادیر متغیر پاسخ در نظر گرفته شد (جدول 2).

جدول 1 - پارامترهای انتخابی و سطوح در نظر گرفته شده

متغیر مستقل	برای آنها		
	نماد ریاضی	سطوح	متغیر
			+1
			0
			-1
گلوکز اکسیداز	X	0/03	0/04
صمغ گوار	Y	0/10	0/125
اسیدآسکوربیک	Z	0/03	0/05

جدول 2- طرح CCD برای انجام آزمایش

تیمار	گلوکز اکسیداز	صمغ گوار	اسید آسکوربیک	مقاومت	کشش
1	0/03	0/100	0/03	677/000	93/000
2	0/05	0/100	0/03	674/333	96/667
3	0/05	0/150	0/03	720/000	83/000
4	0/05	0/150	0/03	741/667	103/667
5	0/03	0/100	0/07	760/667	102/667
6	0/05	0/100	0/07	740/000	95/667
7	0/03	0/150	0/07	639/667	99/000
8	0/05	0/150	0/07	669/333	98/333
9	0/03	0/125	0/05	750/000	90/333
10	0/05	0/125	0/05	708/667	99/000
11	0/04	0/100	0/05	681/333	98/333
12	0/04	0/150	0/05	645/000	95/000
13	0/04	0/125	0/03	701/333	95/000
14	0/04	0/07	0/07	632/000	105/667
15	0/04	0/05	0/05	654/667	95/333
16	0/04	0/05	0/05	640/000	100/333
17	0/04	0/05	0/05	655/333	95/000
18	0/04	0/05	0/05	660/333	94/000

با وارد کردن داده‌های مربوط به متغیر پاسخ مقاومت (برای هر تیمار میانگین سه مقاومت ظاهر شده در 5 سانتی متر اول کشش، در سه زمان استراحت خمیر در نظر گرفته شد) در

#### 4- تجزیه و تحلیل خروجی ها

4-1- متغیر پاسخ مقاومت

4-1-1- مدل سازی

تمامی نمودارها رضایت بخش بود، بنابراین در اعتبار نتایج مشکلی وجود ندارد. نتایج این بررسی به صورت خلاصه شده در شکل 1 ارائه شده است. برای باقی مانده ها آزمون نرمال بودن نیز انجام و گزارش شد که در شکل 2 قابل مشاهده است. همان طور که مشخص است مقدار p-value بیشتر از 0/05 می باشد، لذا فرض نرمال بودن پذیرفته می شود. شکل 3 اثرات اصلی را پس از در نظر گرفتن عوامل مؤثر و با توجه به مدل نهایی و شکل 4 اثرات اصلی را با در نظر گرفتن تمامی عوامل و با توجه به مدل اولیه نشان می دهد. مطابق شکل های مذکور با افزایش عامل X (گلوکز اکسیداز) در سطوح اول تا دوم این عامل مقدار مقاومت کاهش پیدا کرده ولی به تدریج بعد از سطح دوم با افزایش گلوکز اکسیداز مقدار مقاومت افزایش یافت. با افزایش عامل Y (صمغ گوار) مقاومت کاهش پیدا کرده است. نمودار سوم در شکل های ذکر شده تأثیر متغیر Z (اسیدآسکوربیک) را نشان می دهد که این نمودار نیز مانند نمودار قبلی بر رابطه معکوس عامل Z با مقدار متغیر پاسخ مقاومت دلالت می کند. اما همان گونه که از شکل ها و جدول آنالیز واریانس قابل مشاهده است، تأثیرات هیچ کدام از نمودارها به لحاظ آماری، به میزان قابل توجهی مؤثر (معنی دار) نمی باشد.

نرم افزار مینی تب<sup>1</sup>، نتایج آنالیز واریانس در جدول 3 مشاهده شد. مطابق جدول 3، پی-مقدار<sup>2</sup> برای هر سه عامل گلوکز اکسیداز و صمغ گوار و اسیدآسکوربیک بیشتر از 0/05 است. پس هیچ کدام از اثرات اصلی به تنهایی مهم نیستند. سطح معنی داری مربعات اثر اصلی گلوکز اکسیداز کمتر از 0/05 است. بنابراین عامل X (گلوکز اکسیداز) باید در مدل نهایی بیان گردد. در بین اثرات متقابل تنها p-value مربوط به صمغ گوار - اسیدآسکوربیک مهم است. با توجه به اهمیت اثر متقابل صمغ گوار - اسیدآسکوربیک، عامل اسیدآسکوربیک و صمغ گوار نیز در مدل لحاظ می گردد. با استفاده از دو جدول آنالیز واریانس و جدول ضرایب (جدول 4)، مدل نهایی بر اساس عوامل مؤثر پردازش شده و در قالب مقادیر کد شده به صورت زیر ارائه می گردد:

$$Y.Z = 662/23 - 1/23X - 11/77Y - 7/27Z + 07/3 X.X - 37/70 Y.Z$$

در رابطه فوق X نماد اثر عامل گلوکز اکسیداز، Y نماد عامل صمغ گوار، Z نماد عامل اسیدآسکوربیک، X.X نماد اثر درجه دوم عامل گلوکز اکسیداز و Y.Z نشانگر اثر متقابل گوار-اسیدآسکوربیک می باشد. همان طور که واضح است مدل نهایی، شامل اثرات متقابل و درجه دوم نیز می باشد. قبل از پذیرفتن نتایج تحلیل واریانس و پردازش مدل نهایی، مانده های این آزمایش از لحاظ نرمال بودن، مستقل بودن، تصادفی بودن و برابر بودن واریانس بررسی شد. البته

<sup>1</sup> Minitab

<sup>2</sup> P-value

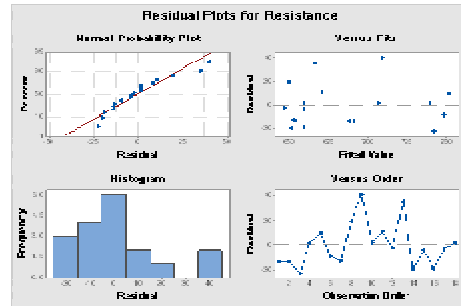
جدول 3 - نتایج آنالیز واریانس مربوط به متغیر پاسخ مقاومت

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F آماره	p-value
مدل	9	25320/1	2813/3	5/33	0/014
خطی	3	1930/4	643/5	1/22	0/364
X	1	17/8	17/8	0/03	0/859
Y	1	1384/5	1384/5	2/62	0/144
Z	1	528/0	528/0	1/00	0/347
توان دوم	3	11279/9	3670/0	7/12	0/012
X <sup>2</sup>	1	8883/0	8883/0	16/82	0/003
Y <sup>2</sup>	1	215/2	215/2	0/41	0/541
Z <sup>2</sup>	1	79/3	79/3	0/15	0/708
اثرات متقابل	3	12109/9	4036/6	7/64	0/010
XY	1	696/9	696/9	1/32	0/284
XZ	1	12/5	12/5	0/02	0/882
YZ	1	11400/5	11400/5	21/58	0/002

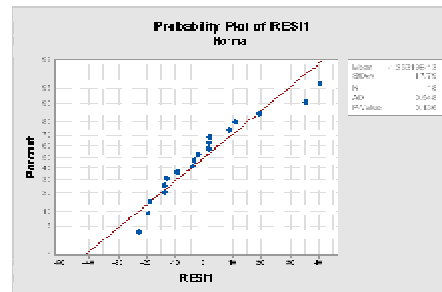
جدول 4 - اثرگذاری پارامترها بر متغیر پاسخ مقاومت

متغیر	اثر	ضریب رگرسیونی	مقدار آماره t	p-value
ضریب ثابت		662/33	73/26	00/00
X	-2/67	-1/33	-0/18	0/859
Y	-23/53	-11/77	-1/62	0/144
Z	-14/53	-7/27	-1/00	0/347
X <sup>2</sup>	114/5	57/3	4/10	0/003
Y <sup>2</sup>	-17/8	-8/9	-0/64	0/541
Z <sup>2</sup>	-10/8	-5/4	-0/39	0/708
XY	18/67	9/33	1/15	0/284
XZ	-2/50	-1/25	-0/15	0/882
YZ	-75/50	-37/75	-4/65	0/002

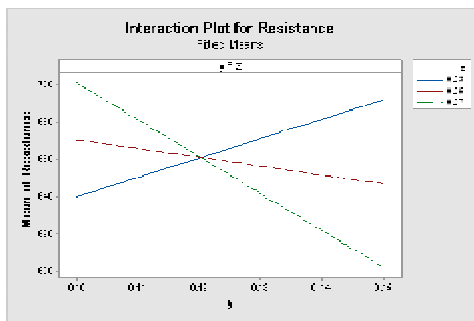
شکل 5 اثرات متقابل عوامل مؤثر (معنادار) را نشان می دهد و شکل 6 اثرات متقابل تمامی عوامل (معنادار و غیر معنادار) را نشان می دهد و هر دو شکل نتایج حاصل از جدول آنالیز واریانس را نیز تأیید می کنند. با توجه به تعریف اثر متقابل (عدم توانایی یک عامل در ایجاد اثری یکسان در متغیر پاسخ به ازای سطوح مختلف عوامل دیگر) متقاطع بودن نمودار مربوط به اثرات متقابل گوار - اسید آسکوربیک در هر دو شکل 5 و 6 بیانگر وجود اثر متقابل بین این عوامل و موازی بودن نمودارهای مربوط به اثر متقابل گلوکز اکسیداز - اسیدآسکوربیک و گلوکز اکسیداز - گوار در شکل 6 بیانگر عدم وجود اثرات متقابل بین این دو عامل است.



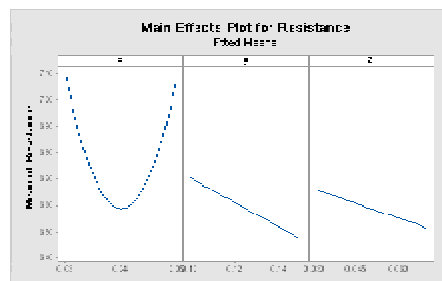
شکل 1 - بررسی کفایت مدل



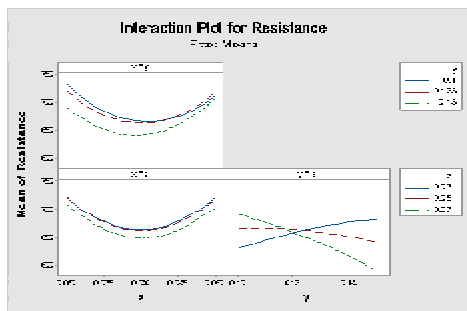
شکل 2- آزمون نرمال بودن باقی مانده ها مربوط به متغیر پاسخ مقاومت



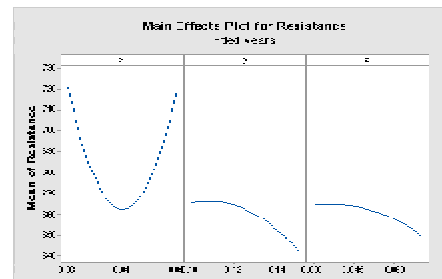
شکل 5 - اثر متقابل مربوط به متغیر پاسخ مقاومت با در نظر گرفتن عوامل مؤثر



شکل 3- اثرات اصلی مربوط به متغیر پاسخ مقاومت با در نظر گرفتن عوامل مؤثر



شکل 6 - اثرات متقابل عوامل مربوط به متغیر پاسخ مقاومت با در نظر گرفتن تمامی عوامل



شکل 4 - اثرات اصلی مربوط به متغیر پاسخ مقاومت با در نظر گرفتن تمام عوامل

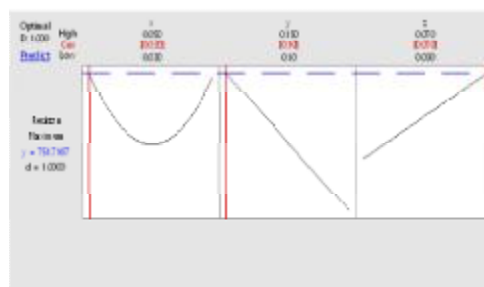
#### 4-1-2 بهینه سازی

در این بخش بهینه سازی متغیر پاسخ مقاومت به ازای سه عامل مورد بررسی، مدنظر قرار گرفته است. هدف این است که متغیر پاسخ مقاومت ماکزیمم گردد. بنابراین می بایست مقادیری برای این سه عامل انتخاب شود که مقدار مقاومت



گلوکز اکسیداز و اسیدآسکوربیک کوچک‌تر از 0/05 و برای عامل صمغ گوار بیشتر از 0/05 می‌باشد؛ لذا در بین اثرات اصلی، عوامل گلوکز اکسیداز و اسیدآسکوربیک به‌عنوان دو عامل مهم و تأثیرگذار در مدل مشاهده می‌شوند. مربعات هیچ‌کدام از اثرات اصلی مهم نبوده و اثرات متقابل گلوکز اکسیداز - صمغ گوار و گلوکز اکسیداز - اسیدآسکوربیک معنی‌دار می‌باشند؛ بنابراین با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل گلوکز اکسیداز - صمغ گوار عامل صمغ گوار نیز مهم در نظر گرفته می‌شود و در مدل ارائه می‌گردد. در جدول 6 نوع اثرگذاری پارامترها قابل مشاهده است که با استفاده از این جدول و جدول آنالیز واریانس امکان برازش مدل رگرسیونی فراهم می‌گردد. مشاهده می‌کنیم عامل اسیدآسکوربیک که با عدد 6 بزرگ‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است مهم‌ترین عامل اثرگذار بر متغیر پاسخ کشش می‌باشد و بعد از آن عامل گلوکز اکسیداز با عدد 5/067 در رتبه دوم قرار می‌گیرد که این دو عامل با متغیر پاسخ رابطه مستقیم دارند. یعنی با افزایش این دو عامل کشش خمیر نیز افزایش پیدا می‌کند. صمغ گوار با عدد 1/467 کم‌ترین تأثیر را بر کشش داشته و در جهت عکس متغیر پاسخ عمل می‌کند یعنی با افزایش میزان صمغ گوار مقدار کشش خمیر کاهش پیدا می‌کند.

به حداکثر برسد. همان‌طور که شکل 7 نشان می‌دهد، بیشترین مقدار مقاومت برابر 751/7167 واحد اکستنسوگراف (EU) می‌باشد که این مقدار زمانی حاصل می‌گردد که گلوکز اکسیداز مقدار 0/03 گرم در یک کیلوگرم آرد، گوار 0/1 گرم در یک کیلوگرم آرد و اسیدآسکوربیک مقدار 0/07 گرم در یک کیلوگرم آرد را اختیار کند. بعلاوه مقدار تابع مطلوبیت برابر یک است و بیانگر این است که بهترین مقدار برای متغیر خروجی مقاومت حاصل شده است.



شکل 7- سطوح بهینه عوامل برای متغیر پاسخ مقاومت

#### 2-4- متغیر پاسخ کشش

##### 1-2-4 مدل‌سازی

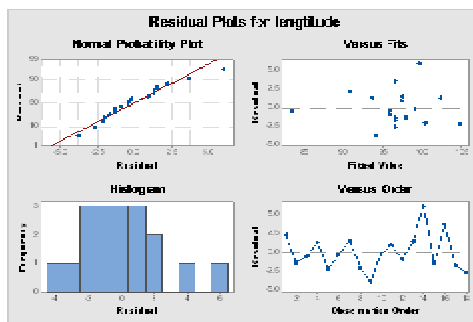
با وارد کردن داده‌های مربوط به متغیر پاسخ کشش در نرم‌افزار مینی‌تب، نتایج آنالیز واریانس در جدول 5 قابل مشاهده است. بر این اساس، مقدار p-value برای عامل

جدول 5 - نتایج آنالیز واریانس مربوط به متغیر پاسخ کشش

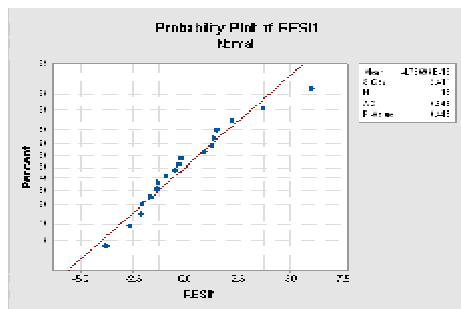
منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	p-value
مدل	9	389/164	43/240	5/30	0/014
خطی	3	159/556	53/185	6/52	0/015
X	1	64/178	64/178	7/86	0/023
Y	1	5/378	5/378	0/66	0/440
Z	1	90/000	90/000	11/03	0/011
توان دوم	3	33/053	11/018	1/35	0/325
X <sup>2</sup>	1	18/028	18/028	2/21	0/175
Y <sup>2</sup>	1	0/910	0/910	0/11	0/747
Z <sup>2</sup>	1	25/827	25/827	3/17	0/113
اثرات متقابل	3	196/556	65/519	8/03	0/009
XY	1	68/056	68/056	8/34	0/020
XZ	1	128/000	128/000	15/69	0/004
YZ	1	0/500	0/500	0/06	0/811

جدول 6 - اثرگذاری پارامترها بر متغیر پاسخ کشتش

متغیر	اثر	ضریب رگرسیونی	آماره t	p-value
ضریب ثابت		۹۶/۷۱	۸۶/۰۶	۰/۰۰
X	5/067	2/533	2/80	0/023
Y	-1/467	-0/733	-0/81	0/440
Z	6/000	3/000	3/32	0/011
X <sup>2</sup>	-5/16	-2/58	-1/49	0/175
Y <sup>2</sup>	-1/16	-0/58	-0/33	0/747
Z <sup>2</sup>	6/17	3/09	1/78	0/113
XY	5/83	2/92	2/89	0/020
XZ	-8/00	-4/00	-3/93	0/004
YZ	0/50	0/25	0/25	0/811



شکل 8 - بررسی کفایت مدل برای متغیر پاسخ کشتش



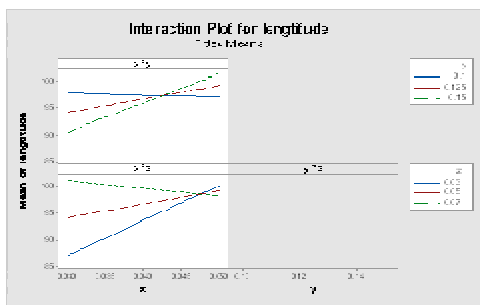
شکل 9- آزمون نرمال بودن باقی مانده‌ها مربوط به متغیر

پاسخ کشتش

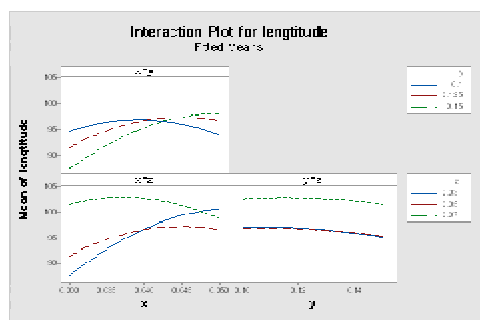
شکل 10 اثرات اصلی را پس از در نظر گرفتن عوامل مؤثر و با توجه به مدل نهایی و شکل 11 اثرات اصلی را با در نظر گرفتن تمامی عوامل و با توجه به مدل اولیه نشان می‌دهد. هر دو شکل نتایج حاصل از جدول آنالیز واریانس را نیز تأیید

مدل نهایی بر اساس عوامل مؤثر با استفاده از دو جدول 5 و 6 پردازش شده و در قالب مقادیر کد شده به صورت زیر ارائه می‌گردد:

اثرات 
$$= 96/71 + 2/533x - 0/733y + 3/00z + 2/91x.y - 4/00x.z$$
 در رابطه فوق X نماد اثر عامل گلوکز اکسیداز، Y نماد عامل صمغ گوار، Z نماد عامل اسیدآسکوربیک، و X.Y و X.Z نشانگر اثر متقابل گلوکز اکسیداز-اسیدآسکوربیک می‌باشد. همان‌طور که مشخص می‌باشد، مدل یک مدل درجه یک به همراه اثرات متقابل می‌باشد. قبل از پذیرفتن نتایج تحلیل واریانس و پردازش مدل نهایی، مانده‌های این آزمایش از لحاظ نرمال بودن، مستقل بودن، تصادفی بودن و برابر بودن واریانس بررسی شد. البته تمامی نمودارها رضایت‌بخش بود، بنابراین در اعتبار نتایج مشکلی وجود ندارد. نتایج این بررسی به صورت خلاصه شده در شکل 8 آورده شده است. برای باقی مانده‌ها نیز آزمون نرمال بودن انجام و گزارش شد که در شکل 9 قابل مشاهده می‌باشد. همان‌طور که مشخص است مقدار p-value بیشتر از 0/05 می‌باشد لذا فرض غیر نرمال بودن رد می‌گردد.



شکل 12- اثرات متقابل مربوط به متغیر کشش با در نظر گرفتن عوامل مؤثر

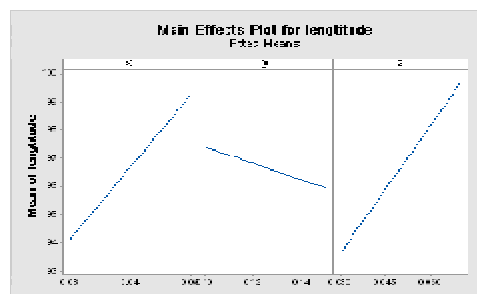


شکل 13- اثرات متقابل مربوط به متغیر پاسخ کشش با در نظر گرفتن تمامی عوامل

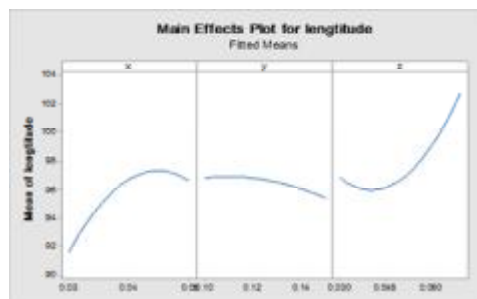
#### 4-2-2 بهینه‌سازی

در این بخش، بهینه‌سازی متغیر پاسخ کشش به ازای سه عامل مورد بررسی مدنظر قرار گرفته است. هدف بر این است تا متغیر پاسخ ماکزیمم گردد. بنابراین می‌بایست مقادیری برای سه عامل انتخاب گردد که مقدار متغیر پاسخ کشش به حداکثر برسد. همان‌طور که شکل 14 نشان می‌دهد، بیشترین مقدار کشش برابر 104/7833 میلی‌متر می‌باشد که این مقدار زمانی حاصل می‌گردد که گلوکز اکسیداز مقدار 0/03 گرم در یک کیلوگرم آرد، گوار 0/1 گرم در یک کیلوگرم آرد و اسیدآسکوربیک مقدار 0/07 گرم در یک کیلوگرم آرد را اختیار کند. مقدار تابع مطلوبیت<sup>1</sup> برابر یک می‌باشد و بیانگر این است که بهترین مقدار برای متغیر خروجی حاصل شده است.

می‌کنند. با افزایش عامل X (گلوکز اکسیداز) مقدار کشش افزایش پیدا کرده است. عامل Y (صمغ گوار) تأثیر اندکی بر مقدار کشش داشته و با افزایش آن کشش کاهش پیدا کرده است. نمودار سوم نیز تأثیر متغیر Z (اسیدآسکوربیک) را نشان می‌دهد که این نمودار بر تأثیر زیاد این عامل بر متغیر کشش و رابطه مستقیم این عامل با متغیر پاسخ دلالت می‌کند. شکل 12 اثرات متقابل عوامل مؤثر را نشان می‌دهد و شکل 13 اثرات متقابل تمامی عوامل را نشان می‌دهد و هر دو شکل نتایج حاصل از جدول آنالیز واریانس را نیز تأیید می‌کنند. متقاطع بودن هر یک از نمودارهای مربوط به اثرات متقابل گلوکز اکسیداز - گوار و گلوکز اکسیداز - اسید آسکوربیک در هر دو شکل 12 و 13 بیانگر وجود اثر متقابل بین این عوامل و موازی بودن نمودارهای مربوط به اثر متقابل گوار - اسیدآسکوربیک در شکل 13 بیانگر عدم وجود اثرات متقابل بین این دو عامل می‌باشد.

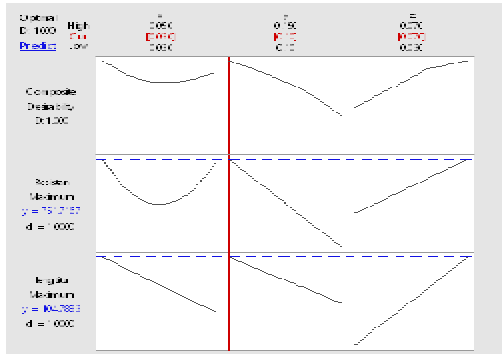


شکل 10- اثرات اصلی مربوط به متغیر پاسخ کشش با در نظر گرفتن عوامل مؤثر



شکل 11- اثرات اصلی مربوط به متغیر پاسخ کشش با در نظر تمام عوامل

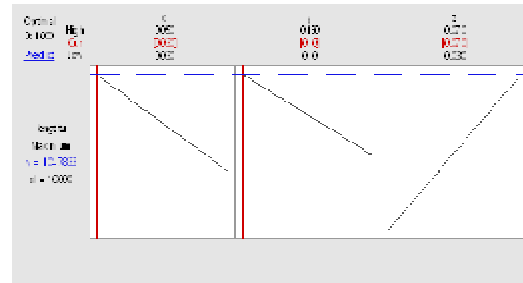
<sup>1</sup> Desirability function



شکل 15- سطوح بهینه عوامل برای دو متغیر کشش و مقاومت به طور هم‌زمان

### 5- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، به منظور بهینه‌سازی دو مورد از خواص رئولوژیکی خمیر نان اعم از کشش و مقاومت از روش طراحی آزمایشات و تکنیک روش سطح پاسخ استفاده شد. بررسی کفایت مدل و آزمون نرمال بودن حاکی از برازش مناسب مدل‌های از مرتبه دوم با اثر متقابل دارد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که طراحی آزمایشات و روش سطح پاسخ در جهت تعیین عوامل مؤثر بر روی دو متغیر پاسخ کشش و مقاومت و بهینه‌سازی دو هدفه این دو عامل به‌خوبی عمل کرده است. در شرایط بهینه بیشترین مقدار مقاومت برابر 751/7167 واحد EU و بیشترین مقدار کشش برابر 104/7833 میلی‌متر می‌باشد و این دو مقدار به صورت هم‌زمان، هنگامی حاصل می‌شود که گلوکز اکسیداز مقدار 0/03 گرم در یک کیلوگرم آرد، گوار 0/1 گرم در یک کیلوگرم آرد و اسیدآسکوربیک مقدار 0/07 گرم در یک کیلوگرم آرد را اختیار کند. با مقایسه میزان کشش و مقاومت خمیر در زمان قبل و بعد از افزودن بهبوددهنده‌ها، نتیجه‌گیری شد که افزودن سه عامل گلوکز اکسیداز، صمغ گوار و اسیدآسکوربیک به آرد ضعیف باعث کاهش کشش و افزایش مقاومت خمیر شده است. بنابراین افزودن این سه بهبود دهنده به آرد مورد آزمایش (آرد سن زده)، می‌تواند در جهت بهینه‌سازی تولید آرد موردنیاز برای عرضه در بازار فروش مؤثر واقع گردد.



شکل 14- سطوح بهینه عوامل برای متغیر پاسخ کشش

### 3-4 بهینه‌سازی هم‌زمان دو متغیر پاسخ کشش و مقاومت

با توجه به این که بهترین کیفیت خمیر و نان هنگامی حاصل می‌شود که هر دو عامل کشش و مقاومت خمیر در شرایط بهینه باشند و هر دو فاکتور جز عوامل مهم در تعیین کیفیت خمیر و نان هستند، بهینه‌سازی هم‌زمان دو متغیر پاسخ مقاومت و کشش (بهینه‌سازی دو هدفه) به ازای سه عامل موردبررسی در این بخش مدنظر قرار گرفته است. هدف این است که متغیر پاسخ مقاومت و کشش به طور هم‌زمان ماکزیمم گردند، بنا براین می‌بایست مقادیری برای سه عامل انتخاب گردد که مقدار مقاومت و کشش به طور هم‌زمان حداکثر گردد. همان‌طور که شکل 15 نشان می‌دهد بیشترین مقداری که مقاومت و کشش به طور هم‌زمان می‌توانند اختیار کنند، زمانی حاصل می‌شود که گلوکز اکسیداز مقدار 0/03 گرم در یک کیلوگرم آرد، گوار 0/1 گرم در یک کیلوگرم آرد و اسیدآسکوربیک مقدار 0/07 گرم در یک کیلوگرم آرد را اختیار کند. در این حالت بیشترین مقدار مقاومت برابر 751/7167 واحد EU و بیشترین مقدار کشش برابر 104/7833 میلی‌متر است. بعلاوه مقدار تابع مطلوبیت برابر یک می‌باشد و بیانگر این است که بهترین مقدار برای هر دو متغیر خروجی مقاومت و کشش حاصل شده است.

6- منابع

1. اسماعیلی، پ. ازدست، ط. دنیوی، ع. حسن زاده، ر. ممقانی شیشوان، س. و لی، ر.، 1394. بررسی تجربی خواص مکانیکی نانو کامپوزیت‌های پلیمری تزریقی حاوی نانولوله‌های کربنی چند دیواره بر پایه طراحی آزمایشات. نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری کامپوزیت، جلد 2، شماره 3، صفحات 67-74.
2. برادران کاظم‌زاده، ر. سلماس نیا، ع. و کوهستانی، ب. 1393. بهینه‌سازی مقاوم فرآیند تولید ماست تغلیظ شده ی تقلیدی بر پایه‌ی روش‌های موجود در طراحی آزمایشات و تصمیم‌گیری چند معیاره. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، جلد 11، شماره 42، صفحات 55-72.
3. پایان، ر. 1388. مقدمه‌ای به تکنولوژی فرآورده‌های غلات. ویرایش سوم، تهران. انتشارات آبیژ.
4. توکلی، ح. 1390. آشنایی با انواع روش‌های استاندارد پخت نان، مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی دانشگاه امام حسین (ع).
5. جلدانی، ش. ناصحی، ب. برزگر، ح. سپهوند، ن. 1396. بررسی اثر افزودن آرد کامل کینوا و صمغ زانتان بر خصوصیات شیمیایی و حسی نان بربری به روش سطح پاسخ. علوم و صنایع غذایی ایران، جلد 14، شماره 70، صفحات 89-79.
6. سلیمانی، س. شریفی، ا. آرمین، م. 1395. بهینه‌سازی دما و فرمولاسیون تولید پودر خرمالو به روش سطح پاسخ. نوآوری در علوم و فناوری غذایی، جلد 8، شماره 4، صفحات 27-36.
7. شفیعی سلطانی، م. صالحی‌فر و م. هاشمی، م. 1393. تأثیر استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز با منشأ قارچی بر ویژگی‌های کیفی خمیر و نان تست. نوآوری در علوم و فناوری غذایی، جلد 6، شماره 2، صفحات 43-55.
8. صالحی‌فر، م. شفیعی سلطانی، م. و هاشمی، م. 1393. بررسی اثرات استفاده از آنزیم‌های گلوکز اکسیداز و زیلاناز بر ویژگی‌های کیفی آرد نان تست به روش سطح پاسخ. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، جلد 11، شماره 43، صفحات 135-147.
9. عبادتی، ح. ر. شریفی، م. و نیاکوثری، م. 1395. بهینه‌سازی فرآیند تولید پودر دوغ با خشک کردن کف پوشی به روش سطح پاسخ. نوآوری در علوم و فناوری غذایی، جلد 8، شماره 4، صفحات 15-26.
10. قناد زاده گیلانی، ح. خیاطی، غ. میرنظامی، ز. و قربان پور، م. 1390. امکان‌سنجی و بهینه‌سازی شرایط تولید اتانول از آب پنیر با استفاده از روش سطح پاسخ. دومین همایش بیوانرژی ایران (بیوماس و بیوگاز)، تهران.
11. متینی، س. جلیلی، ف. ابراهیمی، امشکانی، س. م. 1395. تأثیر استخراج آرد گندم و افزایش پودر آب پنیر و آرد چاودار بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر حاصل به روش سطح پاسخ. نوآوری در علوم و فناوری غذایی، جلد 8، شماره 2، صفحات 35-43.
12. هراتی فرزقی، م. شریفی، ا. و استیری، س. 1396. بهینه‌سازی فرآیند تولید پاستیل فراسودمند از میوه زرشک بی دانه به روش سطح پاسخ. نوآوری در علوم و فناوری غذایی، جلد 9، شماره 1، صفحات 9-10.
13. یلمه، م. حبیبی نجفی، م. فرحوش، ر. و حسینی، ف. 1395. کاربرد روش سطح پاسخ در بهینه‌سازی شرایط استخراج رنگ از دانه آناتو به

17. Rui, Y. Xiaosong, H. Yuanying, N. and Quanhong, Li. 2011. Optimization of extraction process by response surface methodology and preliminary structural analysis of polysaccharides from defatted peanut (*Arachis hypogaea*) cakes, *Carbohydrate Research*, 346, 305-310.
18. Shafisoltani, M. Salehifar, M. and Hashemi, M., 2014, Effects of enzymatic treatment using Response Surface Methodology on the quality of bread flour, *Food Chemistry*, 148, 176-183.
19. Tiezheng, M. Qiang, W. and Haiwen, W. 2010. Optimization of extraction conditions for improving solubility of peanut protein concentrates by response surface methodology, 43, 1450-1455.
- کمک امواج فراصوت. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، جلد 13، شماره 50، صفحات 41-51.
14. Campos, B. E. Ruivo, T. D. da Silva Scapim, M. R., Madrona, G. S. and Bergamasco, R. d. C. 2016. Optimization of the mucilage extraction process from chia seeds and application in ice cream as a stabilizer and emulsifier. *LWT-Food Science and Technology* 65, 874-883 .
15. Montgomery, D. C. 2008. Design and analysis of experiments. (John Wiley & Sons).
16. Myers, R. H. Montgomery, D. C. and Anderson-Cook, C. M. 2016. Response surface methodology process and product optimization using designed experiments. (John Wiley & Sons)