

(مقاله پژوهشی)

مدل سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته به روش سطح پاسخ

حیدر ناصری^۱، عیسی حزباوی^{۲*}، فیض‌اله شهبازی^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۳- دانشیار، گروه مهندسی بیوسستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹

چکیده

شیر تنها ماده شناخته شده در طبیعت است که می‌تواند نیاز بدن را به طور کامل و متعادل تامین کند. شیر بازساخته یک محصول جایگزین شیر است. اجزای شیر بازساخته به راحتی قابل تنظیم تر از شیر است. با استفاده از هدایت الکتریکی می‌توان اطلاعات ارزشمندی در مورد کیفیت مواد مختلف از جمله مواد غذایی بدست آورد و بوسیله این روش، به عنوان یک ابزار ساده و کاربردی، کیفیت بسیاری از مواد غذایی را کنترل نمود. در این تحقیق روش سطح پاسخ برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته مورد استفاده قرار گرفت. اثر پروتئین (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد) لاکتوز (۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ درصد)، چربی (۳ و ۶ درصد) و دما (۵۰، ۶۰، ۵۵، ۶۵ و ۷۰ درجه سلسیوس) به عنوان متغیرهای مستقل بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته به عنوان متغیرهای وابسته (پاسخ) مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیرهای فرایند به صورت مدل‌های رگرسیونی درجه دوم برای این پاسخ معنی دار بودند ($p < 0.01$). ضریب تبیین (R^2) مدل‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته به روش سطح پاسخ برابر با ۰/۹۲ به دست آمد. شرایط بهینه برای قرار گرفتن هدایت الکتریکی شیر بازساخته در محدوده معمول آن (۴ تا ۵/۵ mS/cm) شامل پروتئین ۳/۴٪، لاکتوز ۷/۷٪، چربی ۳٪ و دمای ۶۳/۹°C به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: روش سطح پاسخ، شیر بازساخته، هدایت الکتریکی

۱- مقدمه

ولتاژ خاص، میزان مقاومت محلول اندازه گیری می گردد. به دلیل آن که استفاده از جریان مستقیم ممکن است منجر به پلاریزاسیون الکترودها شود، معمولاً از یک ولتاژ متناوب استفاده می شود و در پالسی از زمان جریان عبورکننده به مدار به صفر می رسد و در محدوده فرکانس اعمال شده میزان مقاومت محاسبه می گردد، در این جا نمک موجود در یک محلول می تواند روی پلاریزاسیون الکترودها موثر باشد و بدیهی است به کارگیری فرکانسی که در آن پلاریزاسیون الکترودها انجام نشود و حساسیت به حداکثر برسد مدنظر است (۷). به طور معمول هدایت الکتریکی شیر در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در محدوده ۴ تا ۵/۵ ms/cm است (۱۳). همچنین هدایت الکتریکی با درجه حرارت افزایش می یابد (۸). در شرایط آزمایشگاه ارتباط خطی بین دما و هدایت الکتریکی وجود دارد بطوریکه در دمای بین ۱۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس به ازاء افزایش هر درجه دما، هدایت الکتریکی به میزان ۰/۱۱۳ ms/cm افزایش می یابد (۱۱). هدایت الکتریکی به طور گسترده ای در صنایع لبنی مورد استفاده قرار گرفته است. اندازه گیری هدایت الکتریکی یکی از روشهای تست برای تعیین مقادیر از جمله نمک های محلول (۳ و ۱۹)، تعیین میزان یونهای آزاد در شیر (۱۱)، میزان پروتئین پودر آب پنیر (۲۵ و ۱۴)، تعیین میزان کازئین در فرآیند رسیدن پنیر (۱۷ و ۴)، برآورد تولید روزانه شیر و میزان چربی آن (۱۷ و ۲۰) می باشد. روش سطح پاسخ مجموعه ای از تکنیک های مشخص آماری برای طراحی آزمایشات، ساخت مدلها، ارزیابی اثرات فاکتورهای مستقل و جست و جو برای تعیین شرایط بهینه رسیدن به پاسخ های مطلوب است (۱۸). اصول و مبانی روش سطح پاسخ برای اولین بار توسط باکس و ویلسون در سال ۱۹۵۱ بیان شده است (۱۶). در آزمایشات چند

شیر یک منبع مهم مواد مغذی مورد نیاز برای رشد در نوزادان و کودکان و همچنین برای حفظ سلامتی و نگهداری بافت در بزرگسالان است. همچنین شیر یک غذای کامل است و به آسانی قابل هضم و جذب می باشد (۹). شیر بازساخته یک محصول جایگزین شیر مایع است. اجزای شیر بازساخته به راحتی قابل تنظیم تر از شیرهای مایع است. نسبت اجزای شیر به طور مستقیم بر کیفیت محصول تاثیر می گذارد. بنابراین شیر بازساخته به طور گسترده ای در تولید برخی از محصولات لبنی مانند پنیر، شیر پاستوریزه، بستنی و غیره استفاده می شود (۸ و ۱۲). به رسانایی یک ماده خالص در برابر جریان الکتریکی، هدایت الکتریکی گفته می شود که با واحد میکروزیمنس بر سانتی متر (ms/cm) بیان می شود. هدایت الکتریکی یک ویژگی است که شامل حرکت آنیون به آند و کاتیون به کاتد و انتقال الکترون برای تکمیل مسیر است. هدایت الکتریکی شیر عمدتاً مربوط به املاح موجود در آن به ویژه یونهای سدیم، پتاسیم و کلر است (۱۰). عوامل موثر بر حرکت یونها عبارتند از: غلظت، ولتاژ، دما و بهم زدن مکانیکی (۳). ساختار شیمیایی یک ماده نیز بر هدایت الکتریکی آن تاثیر می گذارد. پروتئین اثر مثبت بر هدایت الکتریکی دارد در حالی که چربی و لاکتوز اثر معکوس بر هدایت الکتریکی دارند (۵). هدایت الکتریکی شیر با افزایش لاکتوز و چربی، کاهش می یابد (۲۰). با افزایش میزان آب شیر، هدایت الکتریکی کاهش خطی و با کاهش چربی شیر، هدایت الکتریکی افزایش پیدا می کند (۱۱). در مایعاتی مانند شیر، هدایت الکتریکی را بر مبنای جابجائی یون ها و حرکت الکترون ها در مسیرهای خاص محاسبه می کنند، به این ترتیب که با فرو بردن دو الکتروود در محلول و اعمال یک

شیر خشک از پودر کازئینات سدیم، برای افزایش درصد چربی پودر شیر خشک از کره حیوانی (شامل ۸۳/۵ درصد چربی و حدود ۱۶ درصد رطوبت) و برای به حجم رساندن نمونه‌ها از آب مقطر استفاده شد (۲۲). در تمامی آزمایشات، جرم نمونه شیر بازساخته برابر با ۱۰۰ گرم در نظر گرفته شد. مواد آزمایشگاهی (لاکتوز و کازئینات سدیم) از شرکت مرک آلمان تهیه شده است. برای تاثیر فاکتور دما، کل آزمایشات در ۵ سطح دمایی (۵۰، ۵۵، ۶۰، ۶۵ و ۷۰ درجه سلسیوس) صورت گرفت.

جدول ۱- درصد ترکیبات مهم پودر شیر خشک

۳۳	پروتئین
۰/۱	چربی
۳/۶	رطوبت
۵۵	لاکتوز

به منظور اندازه‌گیری میزان مواد آزمایشگاهی مورد نیاز برای تهیه نمونه‌های شیر بازساخته و همچنین جرم نهایی نمونه‌ها، از یک ترازوی دیجیتال (مدل AND GF-6000 ساخت کشور ژاپن) با دقت ۰/۱ گرم استفاده شد. برای رساندن دمای نمونه‌ها به دمای مورد نظر (۵۰، ۵۵، ۶۰، ۶۵ و ۷۰ درجه سلسیوس)، ظرف نمونه‌ها در دستگاه بن ماری (Memmert ساخت آلمان) قرار داده شد (۲۳). این دستگاه برای گرم کردن تدریجی و یکنواخت به محلول‌ها در یک بازه زمانی خاص استفاده می‌شود. محدوده دمایی دستگاه بن‌ماری که به طور معمول و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد از دمای اتاق تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است. همچنین برای مخلوط نمودن ترکیبات مختلف شیر از مخلوط‌کن دور بالا (همگن ساز) استفاده شد. برای

مؤلفه‌ای، روش سطح پاسخ می‌تواند به منظور آزمون هم زمان پارامترهای مستقل گوناگون با حداقل زمان آزمایش، اندازه‌گیری بیشترین فاکتورهای مرتبط و دامنه اثر آن‌ها و همچنین اثرات متقابل فاکتورهای مستقل مورد استفاده قرار گیرد (۱۵). روش سطح پاسخ در بهینه سازی فرآیند خشک کردن محصولات محمولاتی مانند فندق (۲۴)، مغز پسته (۶) و میوه به (۱۵) و همچنین برای تعیین زمان بهینه رسیدن پنیر سفید ایرانی (۱) استفاده شده است. تاکنون هیچ پژوهشی در زمینه مدل‌سازی و بهینه‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته با استفاده از روش سطح پاسخ گزارش نشده است. هدف از این تحقیق، مدل‌سازی و بهینه‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته با استفاده از روش سطح پاسخ می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

به دلیل اینکه نژاد گاوهای شیرده و نوع تغذیه این گاوها متفاوت است و همچنین تغییر و کنترل درصد ترکیبات شیر، دقیق و یا راحت نیست (مقدار آب و مواد افزودنی موجود در شیر مشخص نیست)، بنابراین از پودر شیر خشک که خالص و بدون مکمل غذایی می‌باشد، در این تحقیق استفاده شد (۲۳). پودر شیر خشک با درصد ترکیبات مشخص (درصد لاکتوز، درصد چربی و درصد پروتئین) از کارخانه شیر پگاه خرم‌آباد در سال ۱۳۹۶ تهیه شد (جدول ۱). برای رساندن درصد ترکیبات شیر به مقادیر مورد نیاز در این پژوهش از مواد شیمیایی مناسب این کار استفاده شد. تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق شامل درصد پروتئین (۱، ۲ و ۳، ۴ و ۵ درصد)، درصد لاکتوز یا قند (۴، ۶ و ۸، ۱۰ و ۱۲ درصد) و درصد چربی (۳ و ۶ درصد) می‌باشد. برای افزایش درصد لاکتوز پودر شیر خشک از پودر لاکتوز، برای افزایش درصد پروتئین پودر

شد (۲). سطوح متغیر به ترتیب از کمترین تا بیشترین مقدار با کدهای ۲- تا ۲+ شناخته می‌شوند و نقاط مرکزی با کد ۰ برای مقادیر وسط می‌باشند. روش سطح پاسخ با استفاده از نرم افزار Design Expert نسخه ۷ اجرا گردید. فاکتورهای عددی شامل درصد پروتئین، درصد لاکتوز و دمای شیر بازساخته بودند و فاکتور درصد چربی شیر بازساخته به عنوان فاکتور قیاسی (به دلیل اینکه فقط دو سطح ۳ و ۶٪ مورد نظر بود) در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی شیر بازساخته از دستگاه هدایت الکتریکی سنج مدل DC14 با الکترودهایی از جنس پلاتین و ساخت شرکت هاریبای ژاپن استفاده گردید. روش سطح پاسخ برای پیش بینی تأثیر متغیرهای مستقل (درصد پروتئین، درصد لاکتوز، دما و درصد چربی) بر متغیر وابسته (پاسخ) هدایت الکتریکی شیر بازساخته به کار برده شد. آزمایشات بر طبق طرح مرکب مرکزی با پنج سطح برای هر متغیر مستقل و ۳ تکرار طبق جدول ۲ انجام

جدول ۲- نمایش متغیرهای مستقل و مقادیر آنها

سطوح متغیر					نماد ریاضی	متغیر مستقل
۵	۴	۳	۲	۱	A	پروتئین (%)
۱۲	۱۰	۸	۶	۴	B	لاکتوز (%)
۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۵۰	C	دما (°C)
	۶		۳		D	چربی (%)

کاهش دادن تعداد جملات غیر معنی دار آن است. این مدل، هدایت الکتریکی شیر بازساخته را با ۵ عبارت (درجه آزادی) توانسته شبیه‌سازی کند. در مدل شبیه‌سازی شده هدایت الکتریکی شیر، عبارات خطی فاکتورهای درصد پروتئین، درصد لاکتوز، دما و درصد چربی معنی‌دار بودند. همچنین عبارت درجه دوم فاکتور درصد پروتئین معنی‌دار بود ($p < 0.01$). مقدار R^2 و $R^2_{adjusted}$ بین مقادیر واقعی و خروجی مدل به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۰/۹۰ بودند که بالا بودن مقادیر آنها تأییدکننده قدرت بالای مدل می‌باشد. در رابطه (۱) مدل رگرسیونی درجه دوم روش سطح پاسخ برای شبیه‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته با توجه به فاکتورهای مستقل با اثر معنی‌دار مورد نظر ارائه شده است. همانطور که در این رابطه مشخص است اثر خطی فاکتور درصد پروتئین و درصد چربی به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تأثیر بر شبیه‌سازی هدایت الکتریکی شیر

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مدل‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته

برای مدل‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته به روش سطح پاسخ از نرم افزار Design Expert استفاده شد. مدل پیشنهادی روش سطح پاسخ برای هدایت الکتریکی شیر بازساخته، مدل درجه دوم بود. پس از برازش مدل، رابطه به دست آمده در معرض الگوریتم حذف پس‌خور قرار گرفت. با استفاده از الگوریتم مذکور، جملات مدل که از نظر آماری در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نبودند، حذف شدند (مدل درجه دوم کاسته شده). بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۳)، مدل درجه دوم کاسته برای هدایت الکتریکی شیر بازساخته از نظر آماری معنی‌دار بود ($p < 0.01$) و آزمون عدم برازش آن غیر معنی‌دار بود ($p > 0.05$) که نشان دهنده مناسب بودن مدل پس از

$$EC=4.95 + 0.69 A - 0.21 B + 0.17 C - 0.14 D - 0.17 A^2$$

بازساخته بوده است. بعد از فاکتور درصد پروتئین، بیشترین

تأثیر در مدل شبیه سازی هدایت الکتریکی شیر مربوط به

درصد لاکتوز بوده است. رابطه (۱)

که در این رابطه A درصد پروتئین، B درصد لاکتوز، C دما

و D درصد چربی می باشد.

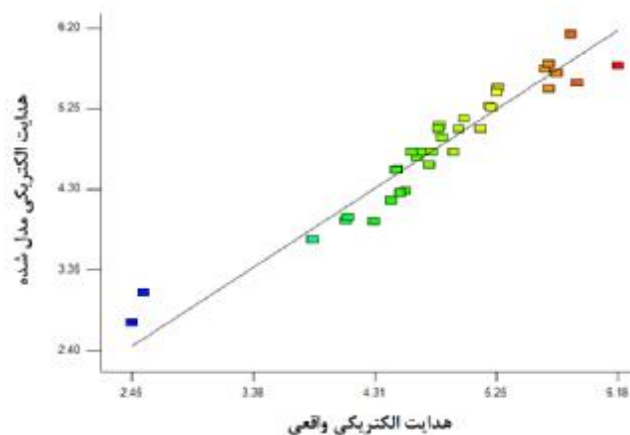
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مدل هدایت الکتریکی شیر بازساخته

p	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات
<۰/۰۰۰۱	۳/۹	۵	۱۹/۵۱	مدل رگرسیونی
<۰/۰۰۰۱	۱۵/۰۸	۱	۱۵/۰۸	A، پروتئین
۰/۰۰۰۳	۱/۴۷	۱	۱/۴۷	B، لاکتوز
۰/۰۰۳	۰/۹۱	۱	۰/۹۱	C، دما
۰/۰۰۹	۰/۶۶	۱	۰/۶۶	D، چربی
۰/۰۰۴	۱/۳۸	۱	۱/۳۸	A ²
-	۰/۰۷۸	۲۸	۱/۷۹	باقیمانده
۰/۱۲	۰/۰۹۱	۲۴	۱/۶۸	عدم برازش
-	۰/۰۲۶	۴	۰/۱۱	خطای خالص

الکتریکی (نقاط) نسبت به خط نیمساز نزدیک بوده و نشان از دقت بالای مدل دارد.

در شکل ۱ مقادیر هدایت الکتریکی شیر بازساخته واقعی نسبت به مقادیر تخمین شده توسط مدل ارائه شده است.

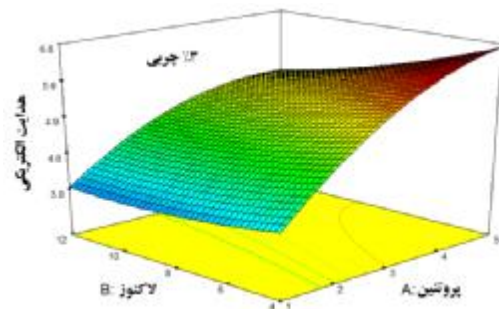
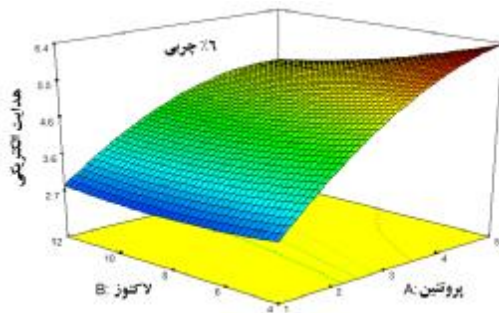
همان طور که در این شکل مشاهده می شود مقادیر هدایت



شکل ۱- ارتباط بین مقادیر هدایت الکتریکی واقعی و مقادیر تخمینی مدل برای شیر بازساخته

(ضریب مثبت درصد پروتئین). به دلیل معنی دار بودن اثر توان دوم درصد پروتئین، در رویه پاسخ آن انحنا وجود دارد (جدول ۴ و شکل های ۲ و ۳). نتایج مشابهی در مورد اثر پروتئین بر هدایت الکتریکی شیر توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (۵). با افزایش درصد لاکتوز از ۴ تا ۱۲ درصد هدایت الکتریکی شیر بازساخته کاهش یافته است که این مقدار کاهش در مقادیر بالای درصد پروتئین (۵٪) و دماهای پایین (۵۰ درجه سلسیوس) بیشتر نمایان است. ضریب منفی رابطه ۱ نیز کاهنده بودن اثر لاکتوز را بیان می کند. نتایج مشابهی در مورد اثر لاکتوز بر هدایت الکتریکی شیر توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (۱۱).

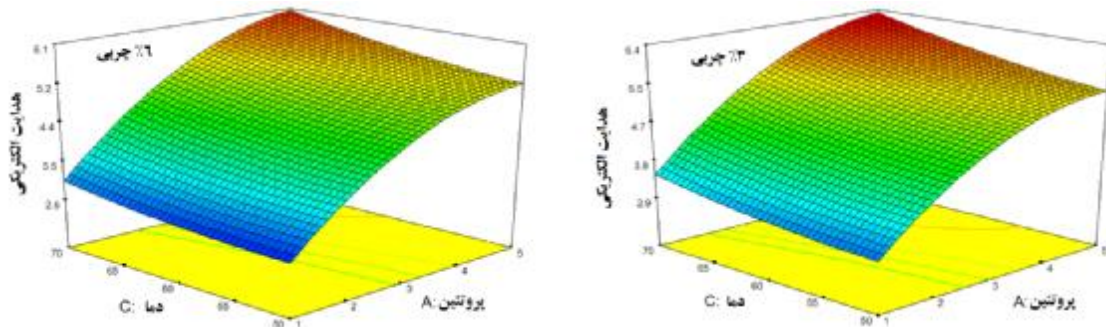
تأثیر متغیرهای مستقل بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته به صورت شکل های سه بعدی رویه پاسخ در شکل های ۲ تا ۴ نشان داده شده است. همان طور که در شکل های ۲ و ۳ مشاهده می شود درصد پروتئین تأثیر عمده ای بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته داشته است که رابطه (۱) آن را نیز تایید می کند. این تغییرات در مقادیر پایین درصد لاکتوز (۴٪) بیشتر بوده است. نتایج تجزیه واریانس و شکل های سطح پاسخ نشان می دهد که افزایش درصد پروتئین از ۱ تا ۵ درصد، تأثیر زیادی بر افزایش هدایت الکتریکی شیر بازساخته داشته است این بدان معنی است که اثر درصد پروتئین افزایشنده بوده که رابطه (۱) نیز آن را تایید می کند



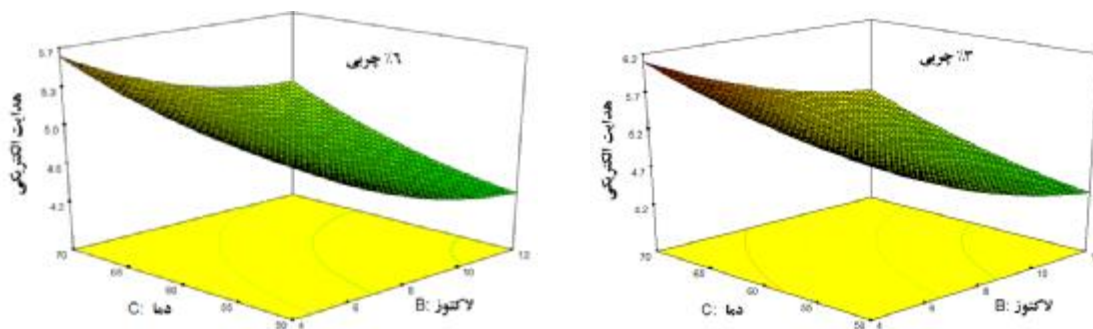
شکل ۲- اثر متقابل درصد لاکتوز و درصد پروتئین بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته

است (شکل ۴). همانطور که در این شکل مشاهده می شود تغییرات هدایت الکتریکی نسبت به فاکتور درصد لاکتوز بیشتر از فاکتور دما است که رابطه (۱) نیز آن را تایید می کند. نتایج مشابهی در مورد اثر دما بر هدایت الکتریکی شیر توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (۲۱ و ۵). با افزایش دما، تحرک مولکول های مایع (شیر) افزایش می یابد و در نتیجه رسانایی و همچنین هدایت الکتریکی آن افزایش می یابد.

با افزایش دما از ۵۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس و همچنین افزایش درصد پروتئین از ۱ تا ۵ درصد، مقدار هدایت الکتریکی شیر بازساخته افزایش یافته است (شکل ۳). همان طور که در این شکل مشاهده می شود تغییرات هدایت الکتریکی نسبت به فاکتور درصد پروتئین بیشتر از فاکتور دما بوده است که در رابطه (۱) نمایان می باشد. با افزایش دما از ۵۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس و همچنین کاهش درصد لاکتوز از ۱۲ تا ۴ درصد، مقدار هدایت الکتریکی شیر بازساخته افزایش یافته



شکل ۳- اثر متقابل دما و درصد پروتئین بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته



شکل ۴- اثر متقابل دما و درصد لاکتوز بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته

هدف خواهد رسید. در این حالت هدایت الکتریکی شیر بازساخته برابر با $6/1 \text{ mS/cm}$ و مقادیر درصد چربی، دما، درصد پروتئین و درصد لاکتوز به ترتیب برابر با $3/3$ ، 65 درجه سانتی گراد، $4/4$ و $6/6$ خواهد بود (جدول ۴). اگر هدف رساندن هدایت الکتریکی به مقدار معمول آن (4 تا $5/5 \text{ mS/cm}$) باشد (۱۳)، مدل ارائه شده با مطلوبیت 100 درصد به این هدف خواهد رسید. در این حالت هدایت الکتریکی شیر بازساخته برابر با $5/5 \text{ mS/cm}$ و مقادیر درصد چربی، دما، درصد پروتئین و درصد لاکتوز به ترتیب برابر با $3/3$ ، $63/9$ درجه سانتی گراد، $3/4$ و $7/7$ خواهد بود (جدول ۴). جهت تایید پیش‌بینی مدل، هدایت الکتریکی شیر بازساخته در شرایط بهینه (حداکثر و معمول) هدایت الکتریکی نیز انجام شد و نتایج تجربی با مقادیر هدایت الکتریکی به ترتیب $5/92$ و $5/4 \text{ mS/cm}$ دقت مدل را تایید نمودند.

همان طور که در شکل‌های ۲ تا ۴ مشخص است مقادیر هدایت الکتریکی شیر بازساخته برای درصد چربی $3/3$ بیشتر از $6/6$ بوده است این بدان معنی است که اثر چربی کاهنده بوده که رابطه (۱) نیز آن را تایید می‌کند (ضریب منفی درصد چربی).

۳-۲- بهینه سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته

با استفاده از روش سطح پاسخ می‌توان علاوه بر مدل‌سازی هدایت الکتریکی، آن را نیز بهینه نمود. شرایط بهینه برای هدایت الکتریکی شیر بازساخته با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی نرم افزار روش سطح پاسخ بررسی شد. اگر هدف به حداکثر رساندن هدایت الکتریکی شیر بازساخته باشد مدل ارائه شده با مطلوبیت $98/5$ درصد به این

جدول ۴- شرایط بهینه برای هدایت الکتریکی شیر بازساخته

هدایت الکتریکی	دما	لاکتوز	چربی	پروتئین	هدف
(mS/cm)	(°C)	(%)	(%)	(%)	
۶/۱	۶۵	۷/۶	۳/۳	۴/۴	بیشترین هدایت الکتریکی
۵/۵	۶۳/۹	۷/۷	۳	۳/۴	هدایت الکتریکی معمول (۴ تا ۵/۵ mS/cm)

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق روش سطح پاسخ برای مدل سازی و بهینه سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته مورد استفاده قرار گرفت. اثر پروتئین (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد) لاکتوز (۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ درصد)، چربی (۳ و ۶ درصد) و دما (۵۰، ۵۵، ۶۰، ۶۵ و ۷۰ درجه سلسیوس) به عنوان متغیرهای مستقل بر هدایت الکتریکی شیر باز ساخته به عنوان متغیرهای وابسته (پاسخ) مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیرهای فرایند به صورت مدل های رگرسیونی درجه دوم برای این پاسخ معنی دار بودند ($p < 0.01$). ضریب تبیین (R^2) مدل سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته به روش سطح پاسخ برابر با ۰/۹۲ بدست آمد. با افزایش درصد پروتئین، کاهش درصد لاکتوز، کاهش درصد چربی و افزایش دمای شیر بازساخته، هدایت الکتریکی آن افزایش یافت. شرایط بهینه برای قرار گرفتن هدایت الکتریکی شیر بازساخته در محدوده معمول آن (۴ تا ۵/۵ mS/cm) شامل پروتئین ۳/۴٪، لاکتوز ۷/۷٪، چربی ۳٪ و دمای ۶۳/۹°C بود.

۵- منابع

۱. سالاری، ر.، مرتضوی، ع. ۱۳۸۷. تعیین زمان بهینه رسیدن پنیر سفید ایرانی با استفاده از روش سطح پاسخ. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، جلد ۵، شماره ۲، ۲۶-۱۷.
2. Chauhan, A. and Srivastava, A. 2009. Optimizing drying conditions for vacuum assisted microwave drying of green peas (*Pisum sativum* L.). *Drying Technology*, 27(6): 761-769.
3. Crow, D.R. 1994. Principles and application of electro chemistry. 4th ed. Glasgow: Blackie Academic and Professional. Glasgow, UK.
4. Dejmek, P. 1989. Precision conductometry in milk renneting. *J Dairy Res*, 56 (1): 69-78.
5. Gelais, D., Champagne, C.P., Erepmoc, F. and Audet, P. 1995. The use of electrical conductivity to follow acidification of dairy blends. *Int Dairy J*, 5: 427-438.
6. Kahyaoglu, T. 2008. Optimization of the pistachio nut roasting process using response surface methodology and gene expression programming

15. Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F. and Mortazavi, S.A. 2012. Multi-objective optimization of osmotic-ultrasonic pretreatments and hot-air drying of quince using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6): 2098-2110.
16. Ozdemir, M., Ozen, B.F., Dock, L.L. and Floros, J.D. 2008. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10): 2044-2050.
17. Paquet, J., Lacroix, C., Audet, P. and Thibault, J. 2000. Electrical conductivity as a tool for analysing fermentation processes for production of cheese starters. *International Dairy Journal*, 10: 391-399.
18. Park, K.J., Bin, A. and Brod, P. 2003. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 56(1): 97-103.
19. Petzer, I.M., Donkin, E.F., Du Preez, E., Karzis, J., Van der Schans, T.J., Watermeyer, J.C. and Reenen, R. 2008. Value of tests for evaluating udder health in dairy goats: somatic cell counts, California Milk Cell Test and electrical conductivity. Onderstepoort. *J Vet Res*, 75: 279-287.
20. Prentice, J.H. 1962. The conductivity of milk the effect of the volume and degree of dispersion of the fat. *J Dairy Res*, 2: 131-139.
21. Sharma, G.S. and Roy, D.N.K. 1976. Influence of temperature on the electrical conductivity of buffalo milk. *J Dairy Res*, 43: 321-323.
- . *Food Science and Technology*, 41: 26-33.
7. Lampert, I.M. 1978. *Modern Dairy Products*. 3th ed. CRC.USA, p. 92-132.
8. Loveland, J.W. 1986. *Conductance and oscillometry*. 2nd ed., USA: Allyn and Bacon, p. 122-43.
9. Luck, H. and Screed, D. 2002 The use of hydrogenperoxide in milk and Dairy products. *Ger Res Inst Food Chem*, 3: 423-452 .
10. Maatje, K., Huijsmans, P.J.M., Rossing, W. and Hogewerf, P.H. 2002. The efficacy of in-line measurement of quarter milk electrical conductivity, milk yield and milk temperature for the detection of clinical and subclinical mastitis. *Livest Prod Sci*, 30: 239-249.
11. Mabrook, M. and Petty, M. 2003. Effect of composition on the electrical conductivity of milk. *J Food Eng*, 69 (3): 321-325.
12. Mabrook, M. F. and Petty, M.C. 2002. Application of electrical admittance measurements to the quality control of milk. *Sensors and Actuators B*, 84: 136-141.
13. Nielen, M., Deluyker, H., Schukken, Y.H. and Brand, A. 1992. Electrical conductivity of milk: measurement, modifiers, and meta analysis of mastitis detection performance. *J Dairy Sci*, 75 (2): 606-614.
14. Norberg, E., Hogeveen, H., Korsgaard, I.R., Friggens, N.C. and Lbvendahl, P. 2004. Electrical conductivity of milk: ability to predict mastitis status. *J. Dairy Sci*, 87: 1099-1107.

24. Uysal, N., Sumnu, G. and Sahin, S. 2009. Optimization of microwave–infrared roasting of hazelnut. *Journal of Food Engineering*, 90: 255-61.
25. Zhuang, W., Zhou, W., Nguyen, M.H. and Hourigan, J.A. 1997. Determination of protein content of whey powder using electrical conductivity measurement. *Int Dairy J*, 7(10): 647-653.
22. Shin, J., Yang, D., Gan, L., Hong, S., Lee, E., Park, S. and Lee, K. 2012. Preparation of recombined milk using modified butterfats containing α -linolenic acid. *Journal of Food Science*, 78(1): 17-24.
23. Therdtai, N. and Zhou, W. 2001. Artificial neural network modelling of the electrical conductivity property of recombined milk. *Journal of Food Engineering*, 50 (2): 107–111.

(Original Research Paper)
**Modeling the Electrical Conductivity of Recombined Milk by
Response Surface Methodology**

Heidar Naseri¹, Isa Hazbavi^{2*}, Feizollah Shahbaz³

1- MSc Graduated of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

2-Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

3-Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Received: 18/02/2019

Accepted:04/05/2019

Abstract

Milk is the only known substance in nature that can provide the body with complete and balanced nutrition. Recombined milk is a milk replacement product. Recombined milk components are more easily adjustable than milk components. Using electrical conductivity, valuable information is available about the quality of different materials, including food. In addition, by this method, as a simple and practical tool, the quality of many foods can be controlled. In this study, Response Surface Methodology (RSM) was used for modeling and optimization of the electrical conductivity of recombined milk. The effects of protein (1, 2, 3, 4 and 5%), Lactose (4, 6, 8, 10 and 12%), fat (3 and 6%) and temperature (50, 55, 60, 65 and 70°C) independent variables on electrical conductivity of recombined milk as dependent variables (response) were evaluated. Process variables were statistically significant ($p < 0.01$) as quadratic regression model for this response. The R^2 factor for the modeling of the electrical conductivity of Recombined milk was 0.92 by the response surface method. Optimum conditions for the electrical conductivity of the Recombined milk in the usual range (4 to 5.5 mS/cm) contained protein 3.4%, lactose 7.7%, fat 3% and temperature of 63.9 °C.

Keywords: Response Surface Methodology, Electrical Conductivity, Recombined Milk.

*Corresponding Author: hazbavi.i@lu.ac.ir