

بهینه‌یابی زمان مخلوط کردن خمیر جهت بهبود خواص رئولوژیکی خمیر و کیفی نان بربری با استفاده از روش سطح پاسخ

سید حسین رضوی زادگان جهرمی^{۱*} - فریده طباطبائی یزدی^۲ - مهدی کریمی^۳ - سید علی مرتضوی^۴

تاریخ دریافت: ۸۹/۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۲۱

چکیده

تلاش برای بهبود کیفیت محصولات نانویی روز به روز در حال افزایش است. روشهای متعددی برای این منظور وجود دارد که در این پژوهش امکان ارتقاء و بهینه‌یابی خواص کیفی خمیر و نان بربری با تکیه بر فرآیند تولید و با استفاده از طرح سطح پاسخ چرخش پذیر مورد بررسی قرار گرفت. مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت پائین (۶۳ rpm) و بالا (۱۸۰ rpm) به مدت ۲-۸ دقیقه به عنوان متغیرهای مستقل و حجم مخصوص نان بربری، چسبندگی، پیوستگی، ارتجاعیت، چسبناکی و سفتی خمیر به عنوان متغیرهای وابسته ارزیابی شد. نتایج آماری حاکی از تأثیر فرآیند تولید بر خواص کیفی خمیر و نان بربری بود که در این میان اثر خطی مدت زمان مخلوط کردن در سرعت بالا به عنوان موثرترین فاکتور بر چسبناکی و ارتجاعیت خمیر تعیین شد. اثر درجه دوم مدت زمان مخلوط کردن در سرعت بالا و پائین به ترتیب به عنوان موثرترین فاکتور بر پیوستگی و سفتی خمیر و حجم مخصوص نان بربری بودند. همچنین اثر متقابل آنها نیز بر چسبندگی خمیر تأثیر شایانی داشت. نتایج بهینه‌سازی نشان داد بهترین کیفیت خمیر و نان زمانی حاصل می‌شود که مدت زمان مخلوط کردن در سرعت بالا و پائین به ترتیب ۷/۱۷ و ۲ دقیقه باشد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌یابی، رئولوژی، کیفیت، فرآیند تولید، نان بربری، مخلوط کردن خمیر

(1996).

مقدمه

Weipert (۱۹۸۷) بیان کرد بررسی خواص رئولوژیکی در کنار علم شیمی، تکنیکی لازم و قدرتمند برای شرح و پیش‌بینی کیفیت محصولات غذایی می‌باشد. در طی ۶۰ سال اخیر، دستگاههایی متعدد با اصول و تکنیک‌های مختلف گسترش یافته‌اند که مطالعه رئولوژی خمیر را تسهیل می‌کنند. آزمون‌های تقلیدی سنتی رئولوژیکی (فارینوگراف، آلوئوگراف، اکستنسوگراف، ماتوروگراف و آمیلوگراف) برای محاسبه پارامترهای پخت نان طراحی شده و اجازه داده تا با استفاده از مدل‌سازی مراحل تولید (مخلوط کردن، تخمیر و سرد کردن)، کیفیت محصول نهایی تخمین زده شود اما این نوع آزمون‌ها همبستگی‌های تجربی محدودی با خواص کیفی محصولات دارند (Dreese, 1988). در تستهای تقلیدی، برخی از خواص مهم فیزیکی مانند چسبندگی خمیر که تأثیر شایانی بر توانایی فرآوری خمیر توسط تجهیزات نانویی دارد در نظر گرفته نشده است (Martin and Stewart, 1991). Muller (۱۹۷۵) گزارش کرد هرچند که اکثر نتایج مهم آزمون‌های رئولوژیکی بر اساس رئومتری بدست می‌آید، اما

خمیر ماده‌ای ویسکوالاستیک است که از مخلوط کردن آب و آرد به مقدار کافی حاصل می‌شود. خواص فیزیکی آن به فاکتورهای متعددی بستگی دارد که این فاکتورها به شدت قابلیت دستگاهی خمیر و کیفیت نهایی محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Navickis, 1982). کیفیت آرد، نوع و سطح مواد اولیه، فرآیند تولید نان (مرحله مخلوط کردن، تخمیر، چانه‌گیری، پخت و سرد کردن) و ترکیباتی نظیر افزودنی‌ها، پارامترهای تأثیرگذار بر خواص تکنولوژیکی خمیر و کیفی نان می‌باشند (Armero E, Collar).

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

*- نویسنده مسئول: (Email: Sh.razavizadegan@gmail.com)

۲-۴ به ترتیب استادیار و استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- استادیار و عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی خراسان رضوی.

با توجه به مطالب ذکر شده این پژوهش با هدف زیر انجام شد:
 ۱- بررسی تأثیر متغیرهای فرآیند تولید نان بر خواص کیفی نان
 بربری و رئولوژیکی خمیر. ۲- بهینه سازی زمان مخلوط کردن خمیر.

مواد و روش ها

آرد ستاره با درجه استخراج ۸۶/۵، رطوبت ۱۰/۵۲ (وزن مرطوب)، پروتئین ۱۲/۸، چربی ۱/۷۶، خاکستر ۰/۸، گلوتن مرطوب ۲۶/۷، عدد فالینگ ۴۰۷ از کارخانه آرد گلکان تهیه شد. به این منظور، آرد مورد نیاز برای انجام آزمایشات یکجا تهیه و در سردخانه نگهداری گردید. مخمر مورد استفاده ساکارومایسس سروسیسا^۱ بود که به شکل پودر مخمر خشک فعال بصورت بسته بندی و کیوم از شرکت خمیر مایه رضوی (مشهد، ایران) تهیه شد سایر مواد مورد استفاده در آزمایشات از شرکت های معتبر خریداری گردید.

تولید نان

نان مورد بررسی در این تحقیق نان بربری بود که مراحل تولید آن بدین صورت می باشد: مخلوط نان با ۱۰٪ آرد گندم، ۱٪ مخمر خشک، ۲٪ نمک، ۱٪ شکر، ۱٪ شورتینینگ و آب (مقدار لازم برای رسیدن به ۴۰۰ واحد برابندر) تهیه گردید (Maleki et al., 1981). پس از مخلوط کردن اجزا (مخلوط کن اسپیرال، ساخت تایوان) به مدت ۱۵ دقیقه و با دور ثابت (۶۳ rpm)، تخمیر اولیه (۶۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۷۵-۸۵٪) و در ادامه چانه کردن (خمیر به چانه های با وزن ۲۰۰ گرم تقسیم بندی شد)، شکل دهی و پانچ کردن انجام شد. در مرحله بعد چانه های حاصل، تخمیر ثانویه را به مدت ۲۰ دقیقه و در دمای ۴۲ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۷۵-۸۵٪ سپری کردند و آخرین مرحله، پخت (۱۳ دقیقه در ۲۶۰ درجه سانتیگراد) بود. پس از پخت، نمونه های نان در دمای محیط و زیر اتاق تمیز سرد و بسته بندی گردیدند تا از آلودگی ثانویه جلوگیری شود و آزمایشات بعدی روی آنها انجام گردد. در این پژوهش مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت پائین به مدت ۲ الی ۸ دقیقه (با سرعت ۶۳ rpm) و مدت زمان مخلوط کردن در سرعت بالا به مدت ۲ الی ۸ دقیقه (با سرعت ۱۸۰ rpm) مورد بررسی قرار گرفت.

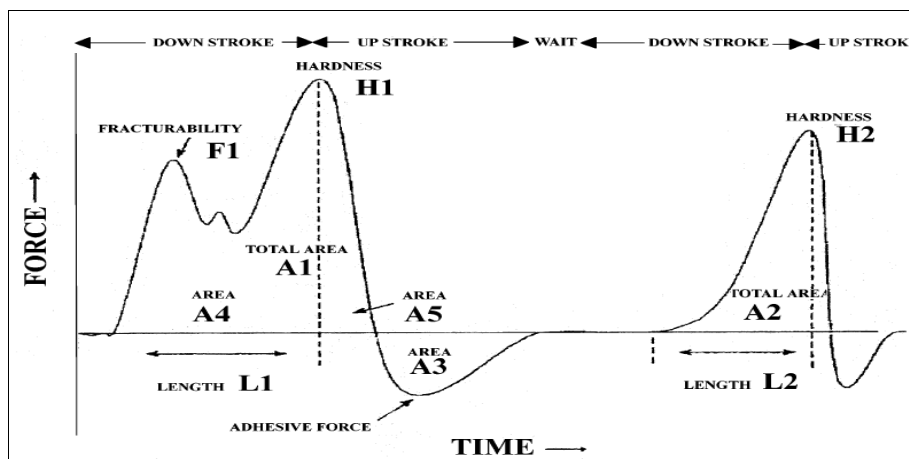
اندازه گیری حجم مخصوص نان

حجم مخصوص نمونه های نان بر اساس روش جایگزینی دانه ی کلزا تعیین شد (Barcenas and Rosell, 2006). بدین منظور در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از پخت، قطعاتی با ابعاد ۱ سانتی متر در ۱ سانتی متر از مرکز هندسی نان تهیه گردید و در نهایت حجم آنها به روش جایگزینی دانه ی کلزا ارزیابی شد.

روش ها و دستگاه های مربوط به آزمون های تجربی رئولوژیکی شایع تر و مفید تر می باشند. در چند دهه اخیر مطالعه وسیعی در زمینه رئولوژی خمیر صورت گرفته است اما در تمام این تحقیقات، بررسی کمی در خصوص تأثیر شرایط فرآیند تولید بر رئولوژی خمیر با استفاده از آزمون های تجربی انجام شده است. همچنین بررسی بسیار محدودی در زمینه رئولوژی خمیر نان های مسطح صورت گرفته که با توجه به تأثیر متغیرهای فرآیند تولید نان بر کیفیت نان بربری و همچنین عدم کیفیت این نوع نان، لزوم بررسی آن متغیرها بر تغییرات خواص رئولوژیکی خمیر و کیفی نان و بهبود آن احساس می شود.

مرحله مخلوط کردن یکی از مراحل مهم تولید نان می باشد که از اهمیت ویژه ای برخوردار است. محققان زیادی در بررسی های خود به نقش تعیین کننده این مرحله اشاره داشته اند (Hamer and Lichtendonk, 1987; Grosch and Wieser, 1999; Chin and Campbell, 2005; Peighambardoust et al., 2005; 2006; 2007). آنها در تحقیقات خود بیان کردند که زمان و سرعت مخلوط کردن خمیر دو عامل تأثیر گذار در این مرحله می باشند. Weegels و همکاران (۱۹۹۷) در پژوهشی تأثیر پارامترهای فرآوری خمیر را بر شبکه گلوتن بررسی کردند. آنها دریافتند که تعدادی از تبدلات در طی مرحله مخلوط کردن خمیر منجر به تضعیف شبکه گلوتن نسبت به حالت مطلوب جهت ایجاد حجم مناسب در نان می شود. Hosney and Rogers (۱۹۹۰) گزارش کردند مکانیسم پیشنهادی بدین صورت است که در طی مخلوط کردن تعدادی از باند های دی سولفیدی شکسته شده و گلوتهین بصورت جزئی دپلمریزه شده است. تغییر در توزیع پروتئین در مراحل تولید نان را می توان به تغییر در حالیت پروتئین و تغییر در حالیت را به تغییر در تراکم و توده ای شدن و حالت بازشدگی پلیمر گلوتن نسبت داد. Wang و همکاران (۱۹۹۲) عنوان کردند که بازشدگی پلیمر گلوتن بدلیل تجزیه باندهای دی سولفیدی در طی مرحله مخلوط کردن می باشد. Alava و همکاران (۲۰۰۱) به بررسی تعیین مراحل تولید و زمان مخلوط کردن خمیر در مخلوط کن های با سرعت بالا پرداختند. آنها عنوان کردند که همبستگی زیادی بین زمان مخلوط کردن خمیر و پارامترهای کیفی نان مانند حجم مخصوص وجود دارد. همچنین افزودند که خمیر با الاستیسیته بالاتر نیازمند زمان مخلوط کردن طولانی تری است. Faubion and Hosney (۱۹۹۷) دریافتند که الاستیسیته و ویسکوزیته خمیر به زمان و سرعت مخلوط کردن خمیر و نوع آرد بستگی دارد. افزایش زمان مخلوط کردن باعث کاهش الاستیسیته خمیر می شود که الاستیسیته خمیر بر قدرت حفظ گاز خمیر موثر می باشد. Mani و همکاران (۱۹۹۲) بیان کردند طی فرآیند مخلوط کردن، ذرات آرد سریعاً هیدراته شده، شبکه گلوتن گسترش یافته و ترکیب کردن هوا به درون سیستم خمیر رخ می دهد. زمانی که پروتئین بوسیله نیروی برشی مخلوط کن هیدراته شد، به شکل رشته ای در شبکه درمی آید و مقاومت سیستم به انبساط بیشتر می شود.

1- *S.cerevisiae*



شکل ۱- نمودار آزمون TPA بافت خمیر

آزمون چسبناکی خمیر^۷

چسبناکی خمیر طبق روش Armero and Collar (۱۹۹۷) ارزیابی شد. در این روش از آزمون فشردگی^۸ با پروبی به قطر ۲۵ میلی‌متر و لود سل اعمال نیرو ۲۵ کیلوگرم استفاده گردید. خمیری به وزن ۲۵ گرم درون کاپ مخصوص قرار گرفت بطوری که پس از بستن درب کاپ، در اثر اعمال نیرو وارده به خمیر، خمیری به ارتفاع حدود ۵ میلی‌متر از روزنه‌های سطح کاپ خارج شود. سرعت حرکت پروب ۱۰ میلی‌متر بر ثانیه، و میزان نفوذ ۶۰٪ لحاظ گردید. نقطه شروع ۵ گرم و نقطه هدف ۱۰۰ گرم استفاده شد.

طرح آزمایشی و روش آنالیز نتایج

برای بررسی تأثیر پارامترهای مراحل تولید نان و بهینه‌یابی آنها از طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر^۹ با دو فاکتور و سه سطح استفاده شد. در این طرح صفت‌های (پاسخ‌ها) مورد بررسی به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مراحل تولید نان (مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت پائین (۶۳ rpm) (۲ الی ۸ دقیقه)، مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا (۶۳ rpm) (۲ الی ۸ دقیقه)) به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. بنابراین نتایج بصورت مدلی رگرسیونی که پاسخ‌ها در آن تابعی از متغیرهای مستقل به همراه ضرایبی است، می‌باشد. مقدار ضرایب در معادلات چند جمله‌ای درجه دوم سهم تأثیر متغیرهای مستقل در پاسخ مربوطه نمایش می‌دهد. طرح آزمایشی در جدول ۱ آورده شده است. ۵ تکرار در نقطه مرکزی برای تخمین خطای خالص در مجموع مربعات می‌باشد. نتایج با روش رگرسیونی چندگانه پس رونده ارزیابی شد. در این

آزمون خصوصیات مکانیکی خمیر

برای تعیین خصوصیات مکانیکی خمیر، از دستگاه بافت سنج^۱ استفاده شد. جهت انجام این آزمون از روش Armero and Collar (۱۹۹۷) استفاده گردید. برای آنالیز بافت خمیر، از روش دو مرحله‌ای آنالیز پروفایل بافت (TPA)^۲، پروبی با قطر ۵ سانتی‌متر استفاده گردید. قطعه‌ای ۳۰ گرمی از خمیر در زیر پروب قرار گرفت و سرعت حرکت پروب ۱ میلی‌متر در ثانیه، فاصله زمانی بین دو مرحله ۷۵ ثانیه و میزان نفوذ ۶۰٪ لحاظ گردید. خصوصیات بافتی اصلی در غیاب چسبندگی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور یک پوشش پلاستیکی بر روی خمیر قرار داده شد تا پیک منفی حاصل از چسبیدن خمیر به پروب حذف گردد. آنالیز نمودار بافت حاصل از خمیر پارامترهایی به ما می‌دهد که در بررسی خصوصیات خمیر موثر خواهند بود (شکل ۱). این پارامترها شامل موارد زیر می‌باشد: پیوستگی^۳: A2/A1؛ سفتی^۴: H1؛ چسبندگی^۵: A3 و ارتجاعیت^۶ Area cycle1- Hardness 1 (Hardness 1 work done) = (work done)/

آزمون چسبندگی

برای ارزیابی چسبندگی خمیر، آزمونی مشابه ارزیابی خواص آزمون مکانیکی خمیر و به طور جداگانه بدون قرار دادن پوشش پلاستیکی انجام شد (Armero and Collar, 1997).

- 1 - QTS Texture Analyser, CNS Farnell, Hertfordshire, UK.
- 2 - Texture Profile Analysis
- 3 - Cohesiveness
- 4- Hardness
- 5 - Adhesiveness
- 6- Resilience

- 7- Stickiness
- 8- Comprassion
- 9- Central composite rotatable design (CCRD)

طی مرحله مخلوط کردن می باشد (Wang et al., 1992). این امر خود موجب کاهش مقدار و میانگین وزن مولکولی گلوئین و در نتیجه گسترش نیافتن شبکه گلوئینی و ایجاد شبکه ای ضعیف می شود. بنابراین با افزایش مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت پائین بدلیل شبکه ضعیف گلوئینی پیوستگی خمیر کاهش یافته اما با افزایش مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا، بدلیل تشکیل شدن شبکه گلوئینی قوی پیوستگی افزایش می یابد.

تأثیر متغیرهای فرآیند بر سفتی خمیر

سفتی خمیر فاکتوریست که به شدت در فرایند مخلوط کردن خمیر مشهود می باشد. نتایج آماری حاکی از تأثیر معنی دار مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا و پائین بر سفتی خمیر است. با توجه به شکل ۳ ملاحظه می شود که با افزایش مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا سفتی خمیر افزایش می یابد در حالیکه در سرعت پائین ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد. تغییرات سفتی خمیر نشان داد که معادله با $R^2 (0/94)$ بالا و بسیار معنی داری ($p \leq 0/05$) برای پیشگویی آن برخوردار است. بررسی جدول آنالیز واریانس (جدول ۳) نشان می دهد که مراحل تولید به صورت معادله درجه دوم بر مقدار سفتی خمیر موثر است و با توجه به ضرایب معادله در جدول ۴، واضح است که مدت زمان مخلوط کردن با سرعت پائین بیشترین اثر را بر سفتی خمیر دارد. Kim و Cornillon (۲۰۰۱) بیان کردند که سیالیت آب خمیر بدلیل افزایش بر خورددهای بین مولکول های آب و سایر ماکرومولکول ها در طی مرحله مخلوط کردن خمیر کاهش می یابد. همچنین با افزایش سرعت در مخلوط کردن خمیر فضای بین مولکولی کاهش می یابد. کاهش انتهایی سفتی خمیر با افزایش زمان مخلوط کردن در سرعت پائین شاید بدلیل کاهش استحکام شبکه گلوئین باشد.

تأثیر متغیرهای فرآیند بر ارتجاعیت خمیر

ارتجاعیت خمیر یکی از فاکتورهایی است که در محدوده خطی نمودار تنش به کرنش یا نیرو به زمان اندازه گیری می شود و بازگو کننده حالت الاستیک خمیر می باشد. شکل ۴ تغییرات ارتجاعیت خمیر با توجه به فرآیند تولید نشان می دهد. نتایج نشان داد که مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا و پائین تأثیر معنی داری بر ارتجاعیت خمیر داد. با افزایش مدت زمان مخلوط کردن در سرعت بالا و پائین، ارتجاعیت خمیر به ترتیب روندی صعودی و نزولی دارد. بررسی تغییرات ارتجاعیت خمیر نشان داد که معادله با $R^2 (0/87)$ بالا و بسیار معنی داری ($p \leq 0/05$) برای پیشگویی آن برخوردار است. بررسی جدول آنالیز واریانس (جدول ۳) نشان می دهد که مراحل تولید به صورت معادله درجه دوم بر مقدار ارتجاعیت خمیر موثر است و با توجه به ضرایب معادله در جدول ۴، واضح است که مدت زمان مخلوط کردن با سرعت پائین بیشترین اثر را بر ارتجاعیت خمیر دارد.

تحقیق محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار Design expert نسخه ۶.۰.۲ صورت گرفت. گفتنی است که تمام فرمولها در دو تکرار (دو بچ مجزا و از هر بچ سه تکرار) انجام پذیرفت. به منظور بهینه سازی مراحل تولید نان بربری در طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر باید ابتدا حد پائین^۱، بالا^۲ و مطلوب^۳ حداکثر^۴ متغیر وابسته و وزن^۵ و اهمیت آنها را تعیین کرد (جدول ۲). بدلیل اهمیت زیاد فاکتورهای رئولوژی و کیفی خمیر و نان ارائه شده در این پژوهش در کیفیت نهایی نان، وزن و اهمیت آنها بیشینه در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

تأثیر متغیرهای فرآیند بر پیوستگی خمیر

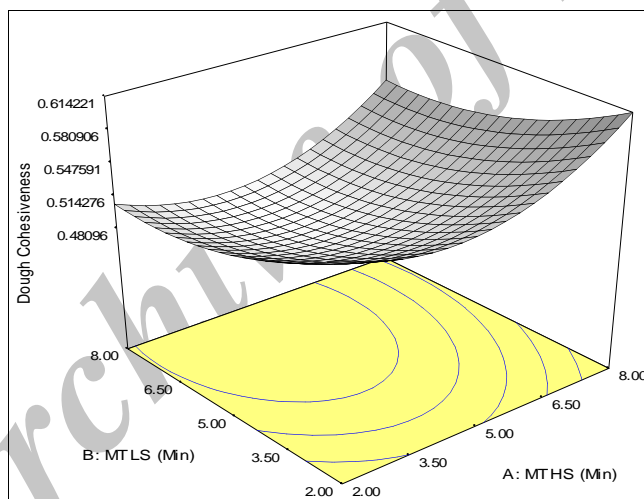
نتایج آماری بیانگر تأثیر معنی دار مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا و پائین بر پیوستگی خمیر است. بررسی تغییرات پیوستگی خمیر نشان داد که با افزایش مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا و مدت زمان مخلوط کردن در سرعت پائین، به ترتیب پیوستگی خمیر روند صعودی و نزولی دارد. جدول ۴ نشان داد معادله ای با $R^2 (0/83)$ بالا و معنی داری ($p \leq 0/05$) برای پیشگویی پیوستگی خمیر برخوردار است. بررسی جدول آنالیز (جدول ۳) نشان می دهد که مراحل تولید بصورت معادله درجه دوم بر مقدار پیوستگی خمیر موثر است و با توجه به ضرایب هر جزء در جدول ۴ مشخص می شود که مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا، بیشترین اثر بر پیوستگی خمیر دارد. Haridas و Manohar (۱۹۹۷) بیان کردند که با افزایش مدت زمان مخلوط کردن خمیر، پیوستگی خمیر افزایش می یابد. Armero and Collar (۱۹۹۷) طی تحقیقی بیان کردند که رابطه نزدیکی بین پیوستگی خمیر و سفتی نان مشاهده شده است. آنها در تحقیقات بعدی خود اشاره کردند که خمیر با پیوستگی بالا تر مقاومت ساختار درونی آنها به نیروهای برشی بیشتر می باشد که این امر موجب تولید نانی با حجم مخصوص بالاتر و بافتی نرمتر می شود (Collar and Armero, 1996). Wang و همکاران (۱۹۹۲) دریافتند کاهش مقاومت خمیر در طی مخلوط کردن به دلیل کاهش باند های دی سولفیدی یا به عبارتی بازشدگی شبکه گلوئین می باشد. Weegels و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که تغییرات ساختاری صورت گرفته در خمیر طی فرآیند مخلوط کردن و تخمیر، بیانگر انجام واکنش های خاص گلوئین، طی بازشدگی گلوئین در حین مخلوط کردن خمیر و تشکیل دوبار پلیمرهای قابل استخراج توسط سدیم دو سولفات^۵ در مرحله تخمیر خمیر می باشد. بازشدگی پروتئین گلوئین بدلیل تجزیه باندهای دی سولفیدی در

- 1- Lower
- 2- Upper
- 3- Target
- 4- Weight
- 5- SDS

جدول ۱- تیمار های تصادفی آزمایش بر اساس متغیر های فرآیند مخلوط کردن در طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر

شمارش	نمایش کد دار و بدون کد متغیر های فرآیند		پاسخ ها					
	X ₁ MTHS	X ₂ MTLs	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆
۱	-۱ (۰)	۰ (۵)	۰/۶±۰/۰۷	۳/۲۳±۰/۳۹	۰/۱۵±۰/۰۴	۱۰۳/۵۵±۳/۵۴	۵/۱۶±۰/۶۳	۴/۳۸±۰/۴۷
۲	۱ (۹/۲۴)	۰ (۵)	۰/۶±۰/۰۱۱	۴/۸۷±۰/۶۳	۰/۱۵±۰/۰۳	۱۰۳/۵۵±۳/۱۱	۵/۴۱±۰/۹۸	۴/۶۶±۰/۶۲
۳	۱ (۸)	۱ (۸)	۰/۵۴±۰/۰۴	۴/۲۶±۰/۴۱	۰/۱۳±۰/۰۳	۱۰۳±۲/۸۷	۶/۰۰±۱/۰۴	۳/۸۱±۰/۴۳
۴	۰ (۵)	۰ (۵)	۰/۵۱±۰/۰۹	۴/۷±۰/۲۳	۰/۱۴±۰/۰۵	۱۰۳/۵۵±۲/۲۳	۵/۴۷±۰/۷۶	۴/۷۹±۰/۳۸
۵	۰ (۵)	۰ (۵)	۰/۵۱±۰/۰۱۰	۴/۷±۰/۵۴	۰/۱۴±۰/۰۲	۱۰۳±۳/۴۱	۵/۱۷±۰/۵۲	۴/۶۴±۰/۶۷
۶	۰ (۵)	۰ (۵)	۰/۴۵±۰/۰۵	۴/۳۹±۰/۲۶	۰/۱۴±۰/۰۳	۱۰۳/۳۳±۱/۳۴	۵/۰۵±۰/۶۹	۳/۱۷±۰/۳۶
۷	-۱ (۲)	۱ (۸)	۰/۴۸±۰/۰۱۴	۳/۶±۰/۶۹	۰/۱۵±۰/۰۲	۱۰۳/۵۱±۲/۲۳	۴/۸±۰/۸۶	۴/۱۰±۰/۴۱
۸	۰ (۵)	-۱ (۰)	۰/۶±۰/۰۸	۲/۹۵±۰/۲۷	۰/۱۷±۰/۰۶	۱۰۶±۳/۷۳	۴/۶۷±۰/۴۶	۴/۸۲±۰/۷۶
۹	۰ (۵)	۱ (۹/۲۴)	۰/۵۲±۰/۰۱۳	۳/۴±۰/۴۹	۰/۱۳±۰/۰۳	۱۰۱/۲۵±۱/۱۷	۶/۲۰±۱/۱۵	۵/۱۲±۱/۰۳
۱۰	۱ (۸)	-۱ (۲)	۰/۶۴±۰/۰۱۲	۴/۵±۰/۸۶	۰/۱۷±۰/۰۵	۱۰۵/۵۱±۴/۳۳	۴/۲۰±۰/۷۵	۴/۹۲±۰/۴۴
۱۱	-۱ (۲)	-۱ (۲)	۰/۵۵±۰/۰۶	۳/۴±۰/۱۹	۰/۱۵±۰/۰۴	۱۰۵/۰۷±۴/۰۵	۵/۶۰±۰/۶۱	۴/۲۸±۰/۸۱
۱۲	۰ (۵)	۰ (۵)	۰/۵۲±۰/۰۷	۴/۳۹±۰/۵۶	۰/۱۴±۰/۰۴	۱۰۴/۷۵±۲/۱۳	۴/۹۶±۰/۵۴	۴/۳۶±۰/۶۶
۱۳	۰ (۵)	۰ (۵)	۰/۴۹±۰/۰۹	۴/۸۷±۰/۹۵	۰/۱۳±۰/۰۴	۱۰۳±۳/۵۸	۴/۷±۰/۴۸	۴/۴۶±۰/۳۴

MTLS (مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت پائین برحسب دقیقه (۶۳ rpm))، MTHS (مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا برحسب دقیقه (۱۸۰ rpm))، Y₁ (پیوستگی خمیر)، Y₂ (سفتی خمیر (N))، Y₃ (ارتجاعیت خمیر)، Y₄ (چسبناکی خمیر (gs))، Y₅ (چسبندگی خمیر (NS))، Y₆ (حجم مخصوص نان (cm³/g)).



شکل ۲- نمودار سطح پاسخ تغییرات پیوستگی خمیر نان بربری در مراحل مختلف تولید نان (مدت زمان مخلوط کردن خمیر با سرعت بالا MTHS، مدت زمان مخلوط کردن خمیر با سرعت پائین MTLs).

جدول ۲- متغیر های وابسته مورد استفاده در بهینه سازی و ویژگی های آنها

صفت ها	هدف	حد پائین	حد مطلوب	حد بالا	وزن	اهمیت
پیوستگی خمیر	بیشینه	۰/۴۵	۰/۶۴	-	۱۰	۵
سفتی خمیر	کمینه	-	۲/۹۵	۴/۸۷	۱۰	۵
ارتجاعیت خمیر	بیشینه	۰/۱۱	۰/۱۷	-	۱۰	۵
چسبناکی خمیر	کمینه	--	۱۰۱/۲۵	۱۰۶	۱۰	۵
چسبندگی خمیر	کمینه	-	۴/۲	۶/۲	۱۰	۵
حجم مخصوص نان	بیشینه	۳/۱۷	۵/۱۲	-	۱۰	۵

جدول ۳- آنالیز واریانس ویژگی رئولوژیکی خمیر نان بربری بر اساس تیمارهای مراحل تولید نان

صفت ها	درجه آزادی	F	درجه آزادی	مجموع مربعات	ضریب تغییرات	انحراف معیار	ضعف برازش	شاخص پرس
پیوستگی خمیر	خطی	۰	۱۲	۰	۱۰/۳۹	۰/۰۵۶	۵/۵۴ ^{ns}	۰/۰۴۴
درجه دوم	۴	۵/۶۷	۸	۰/۰۳۱	۵/۲۳	۰/۰۲۸	۱/۰۴ ^{ns}	۰/۰۲۲
خطی	۱	۷/۱۹	۱۱	۲/۳۸	۱۴/۱۳	۰/۵۸	۱۰/۹۷	۴/۴۴
درجه دوم	۴	۳۴/۴۸	۸	۵/۷	۴/۹۹	۰/۲	۰/۸۳ ^{ns}	۰/۰۶۶
خطی	۱	۱۹/۰۴	۱۱	۰/۰۱۹	۰/۰۷	۰/۰۱	۷/۵۶	۰/۰۰۱۷
درجه دوم	۴	۱۳/۳۹	۸	۰/۰۲۷	۴/۹۴	۰/۰۷۱	۴/۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۱۷
خطی	۱	۳۵/۷	۱۱	۱۴/۶۶	۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۶۶ ^{ns}	۶/۳۳
درجه دوم	۱	۳۵/۷	۱۱	۱۴/۶۶	۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۶۶ ^{ns}	۶/۳۳
خطی	۱	۵/۵۵	۱۱	۱/۲۴	۹/۱۱	۰/۴۷	۳/۸۱ ^{ns}	۳/۷۳
درجه دوم	۳	۱۱/۶	۹	۲/۹۳	۰/۲۹	۵/۶	۱/۱۰ ^{ns}	۱/۵۰
خطی	۱	۷/۱۹	۱۱	۲/۳۸	۱۴/۱۳	۰/۵۸	۱۰/۹۷	۴/۴۴
درجه دوم	۴	۳۴/۴۸	۸	۵/۷	۴/۹۹	۰/۲	۰/۸۳ ^{ns}	۰/۰۶۶

ns نشاندهنده معنی دار نبودن ضراب رگرسیونی در سطح (p ≤ ۰/۰۵) است.

جدول ۴- ضرایب رگرسیونی صفت ها با تکیه بر مراحل تولید نان بربری

ضرایب	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Intercept	۰/۴۹	۴/۶۱	۰/۱۴	۱۰۳/۷۴	۵/۱۹	۴/۶۱
A	۰/۰۲۳	۰/۵۰	۰/۰۰۹۴	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	۰/۰۲۸
B	-۰/۰۳۱	۰/۰۲۸	-۰/۰۱۵	۱/۲۹ ^{ns}	۰/۳۸	۰/۰۲۳
A ²	۰/۰۴۴	-۰/۱۹	۰/۰۵۹۳	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۰۴۳ ^{ns}	-۰/۱۹
B ²	۰/۰۲۲	-۰/۵۸	۰/۰۱۷۶	۰/۱۴ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	-۰/۶۸
AB	-۰/۰۷۵ ^{ns}	-۰/۱۸ ^{ns}	۰/۰۱	-۰/۲۳ ^{ns}	۰/۶۵	-۰/۱۱ ^{ns}
R ^۲	۰/۸۳	۰/۹۴	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۹۴
R ^۲ (Adj)	۰/۷۴	۰/۹۱	۰/۸۰	۰/۷۴	۰/۷۲	۰/۹۱

ns نشاندهنده معنی دار نبودن ضراب رگرسیونی در سطح (p ≤ ۰/۰۵) است. A (مدت زمان مخلوط کردن در سرعت بالا)، B (مدت زمان مخلوط کردن در سرعت پائین).

می یابد. در حالیکه بدلیل افزایش تشکیل باندهای دی سولفیدی با افزایش سرعت مخلوط کن در خمیر ارتجاعیت خمیر افزایش می یابد.

تأثیر متغیرهای فرآیند بر چسبناکی خمیر

نتایج آماری بیانگر تأثیر معنی دار مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا بر چسبناکی خمیر است. بررسی تغییرات چسبناکی خمیر نشان داد که معادله حاصل از R^2 (۰/۷۶) و معنی داری (۰/۰۵) $p \leq$ برای پیشگویی آن بدست آمده است. با توجه به جدول آنالیز واریانس (جدول ۳)، مشاهده می شود که مراحل تولید نان به صورت

Bloksma (۱۹۷۵) دریافت که تغییرات الاستیک گلوتن خمیر به تعداد اتصالات عرضی دی سولفیدی مرتبط می شود و حالت ویسکوز گلوتن را به شکستن و اصلاح باندهای دی سولفیدی در واکنش تبادل تیول دی سولفید می توان نسبت داد. Rogers و Hosney (۱۹۹۰) گزارش کردند که در طی مخلوط کردن، پروتئین گلوتن تحت استرس قرار گرفته و تعدادی از باندهای دی سولفیدی شکسته شده و گلوتهین بصورت جزئی دپلمریزه شده است. لذا می توان نتیجه گرفت که در طی مخلوط کردن خمیر به دلیل شکسته شدن باندهای دی سولفیدی، الاستیسیته یا ارتجاعیت خمیر کاهش

Haridas (۱۹۹۷) مشابه بود. آنها بیان کردند که با افزایش مدت زمان مخلوط کردن خمیر، چسبندگی خمیر افزایش می‌یابد. همچنین Szczeniak (۱۹۶۳) نیز بیان کرد که فاکتور چسبندگی خمیر که معرف چسبندگی سطح خمیر است، به چسبناکی آن مرتبط می‌باشد که با توجه به مطالب ذکر شده در مقدمه می‌توان بیان کرد که بدلیل افزایش گسستگی باندهای دی سولفیدی در طی مرحله مخلوط کردن، انتظار می‌رود چسبندگی خمیر افزایش یابد.

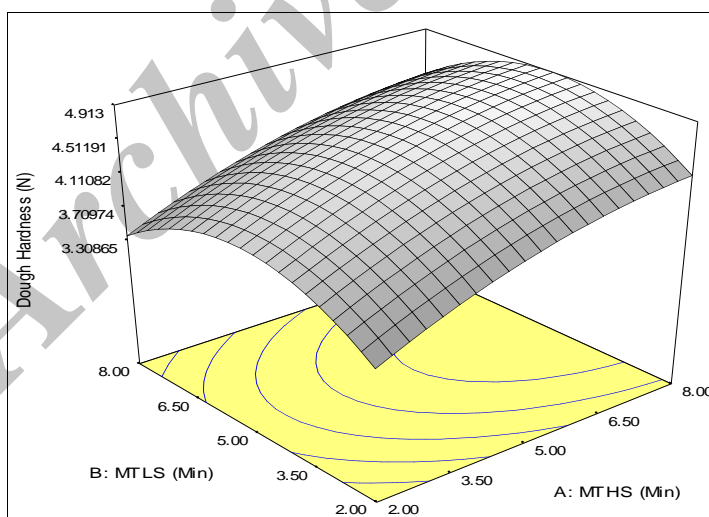
تأثیر متغیرهای فرآیند بر حجم مخصوص نان بربری

شکل ۶، روند تغییرات حجم مخصوص نان بربری باتوجه به متغیرهای فرآیند نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود، با افزایش زمان مخلوط کردن در سرعت بالا، حجم مخصوص افزایش یافت در حالیکه با افزایش زمان مخلوط کردن در سرعت پائین ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. بررسی تغییرات حجم مخصوص نان بربری نشان داد که معادله حاصل از R^2 (۰/۹۴) بالا و معنی داری ($p \leq 0/05$) برای پیشگویی آن برخوردار است. با توجه به جدول آنالیز واریانس (جدول ۳) ملاحظه می‌شود مراحل تولید نان به صورت معادله درجه دوم بر مقدار حجم مخصوص نان بربری غنی شده با سویا موثر است و با توجه به ضرایب معادله در جدول ۴، مشخص است که مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا بیشترین اثر بر حجم مخصوص نان دارد.

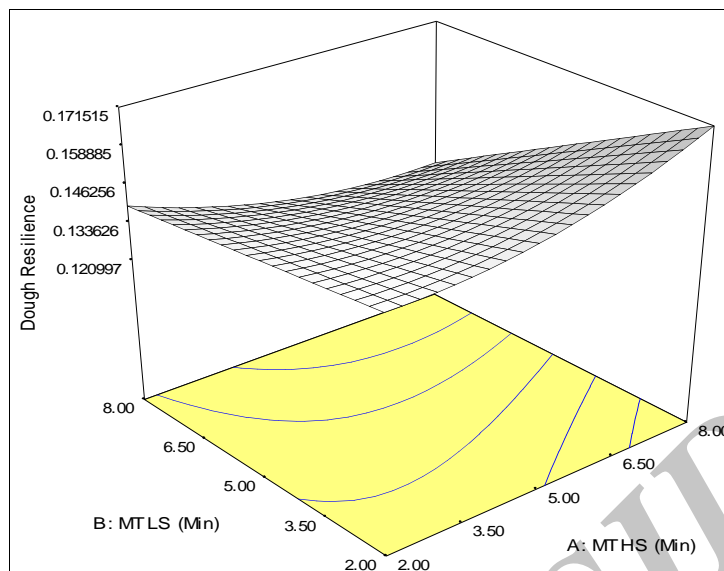
معادله درجه دوم بر مقدار چسبناکی خمیر موثر هستند و با توجه به جدول ۴، ملاحظه می‌شود که مدت زمان مخلوط کردن خمیر با سرعت پائین اثر معنی داری بر چسبناکی خمیر دارد. و Manohar Haridas (۱۹۹۷) دریافتند که با افزایش مدت زمان فرآیند مخلوط کردن خمیر، چسبندگی خمیر افزایش و چسبناکی آن کاهش می‌یابد. بطور کلی تغییر در چسبناکی خمیر بدلیل تغییر در نحوه توزیع وزن مولکولی گلوتن در خمیر می‌باشد (Danno and Hosoney, 1982; Saunders et al., 1992).

تأثیر متغیرهای فرآیند بر چسبندگی خمیر

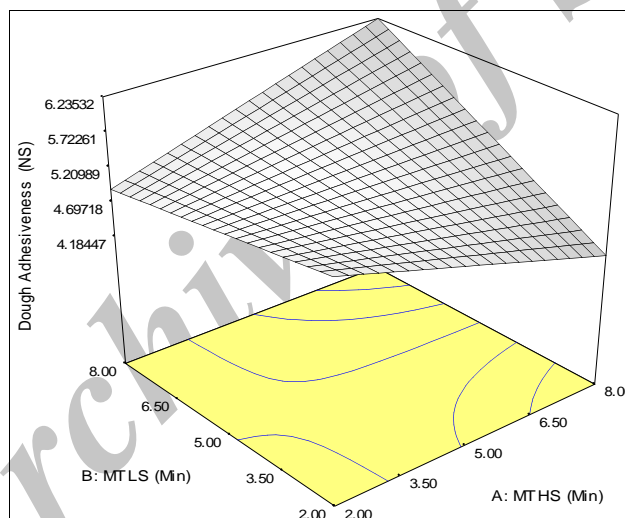
نتایج آماری چسبندگی خمیر حاکی از تأثیر معنی دار ($p \leq 0/05$) تیمارهای مراحل تولید نان بر چسبندگی خمیر است. شکل ۵، تغییرات چسبندگی خمیر را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا، چسبندگی خمیر کاهش می‌یابد. روند تغییرات چسبندگی خمیر با افزایش مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت پائین سیر صعودی دارد. بررسی تغییرات چسبندگی خمیر نشان می‌دهد (جدول ۴) که معادله حاصل از R^2 (۰/۷۹) بالا و معنی داری ($p \leq 0/05$) برای پیشگویی آن برخوردار است. بررسی جدول آنالیز واریانس (جدول ۳) نشان داد که مراحل تولید به صورت معادله درجه اول و دوم بر چسبندگی خمیر موثر هستند و با توجه به ضریب هر جزء در جدول ۴، مشخص شد که اثر متقابل مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا و پائین، اثر بیشتری بر چسبندگی خمیر دارد. نتایج این تحقیق با Manohar و



شکل ۳- نمودار سطح پاسخ تغییرات سفتی خمیر نان بربری در مراحل مختلف تولید نان (مدت زمان مخلوط کردن خمیر با سرعت بالا MTHS، مدت زمان مخلوط کردن خمیر با سرعت پائین MTLs)



شکل ۴- نمودار سطح پاسخ تغییرات ارتجاعیت خمیر نان بربری در مراحل مختلف تولید نان (مدت زمان مخلوط کردن خمیر با سرعت بالا MTHS، مدت زمان مخلوط کردن خمیر با سرعت پائین MTL S)



شکل ۵- نمودار سطح پاسخ تغییرات چسبندگی خمیر نان بربری در مراحل مختلف تولید نان (مدت زمان مخلوط کردن خمیر با سرعت بالا MTHS، مدت زمان مخلوط کردن خمیر با سرعت پائین MTL S).

Campbell و Chin (۲۰۰۵) عنوان کردند که با افزایش سرعت در مخلوط کردن خمیر هوادهی خمیر افزایش یافته و حبابچه های گازی بیشتری در خمیر تشکیل می شود و در نهایت باعث افزایش حجم نان می شوند. در تحقیقی دیگر Campbell و همکاران (۲۰۰۱) نیز عنوان کردند که با افزایش سرعت در مخلوط کردن خمیر، هوادهی خمیر افزایش یافته کیفیت قرص نان (حجم مخصوص) افزایش می یابد. Mani و همکاران (۱۹۹۲) بیان کردند که الاستیسیته بر ظرفیت نگهداری گاز در خمیر موثر است. تغییرات

Finney و همکاران (۱۹۸۲) عنوان کردند مدت زمان مخلوط کردن خمیر به کیفیت گلووتین و حجم مخصوص نان به کیفیت گلیادین بستگی دارد. آنها معتقدند که مخلوط کردن خمیر در مدت زمان کوتاه منجر به تولید نانی با حجم مخصوص کم می شود و افزایش مدت زمان مخلوط کردن خمیر حجم مخصوص نان را افزایش می دهد. کاهش انتهایی حجم مخصوص با افزایش زمان مخلوط کردن در سرعت پائین احتمالاً بدلیل زیاد مخلوط کردن می باشد.

معمولی (۱۵ دقیقه مخلوط کردن در سرعت پائین) به عمل آمد مشاهده شد که حجم مخصوص نان بربری و سفتی، پیوستگی، ارتجاعیت و چسبناکی خمیر نان بربری تولیدی در شرایط بهینه معنی دار و مطلوب تر از نان تولیدی در شرایط معمولی بود.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق، می توان بیان کرد که استفاده از متغیرهای فرآیند تولید، بعنوان راهکاری در جهت بهبود و ارتقاء کیفیت نان و محصولات نانوائی مناسب می باشد. همچنین با توجه به موثر بودن مرحله مخلوط کردن خمیر بر خواص کیفی نان و خمیر، می توان با کنترل این مرحله کیفیت محصول را بهبود بخشید که در این بین نقش مدت زمان مخلوط کردن در سرعت بالاتر پر رنگ تر می باشد.

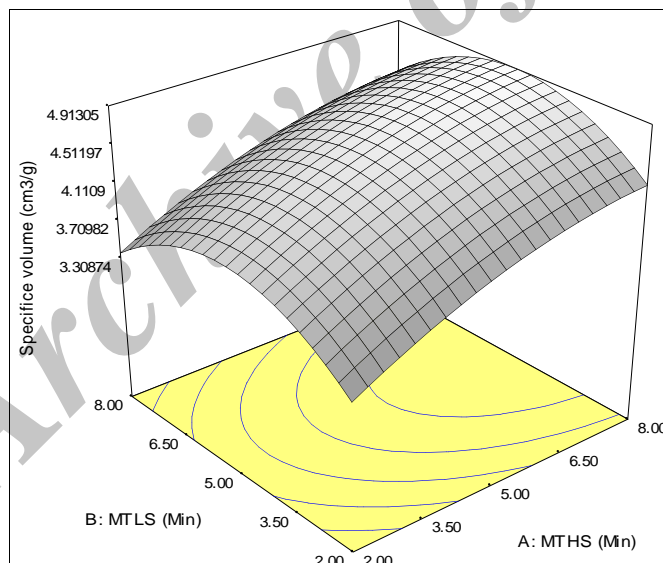
تشکر و قدردانی

در پایان لازم است که از حمایت های مالی مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی در جهت پیش برد این پژوهش قدردانی گردد.

الاستیک گلوتن خمیر به تعداد اتصالات عرضی دی سولفیدی مرتبط می شود (Bloksma, 1975). Wieser و Grosch (۱۹۹۹) طی تحقیقی عنوان کردند که در طی مخلوط کردن خمیر مبادله گروه های سولفیدی و دی سولفیدی زیاد اتفاق می افتد و باند دی سولفیدی بین پروتئین های گلوتن افزایش می یابد و گلوتن الاستیک تر می شود. بنابراین با افزایش سرعت مخلوط کردن الاستیسیت خمیر افزایش می یابد و قدرت شبکه گلوتن در نگهداری گاز افزایش یافته و باعث ازدیاد حجم مخصوص قرص نان می شود.

بهینه یابی فرآیند تولید نان بربری

بهینه یابی پاسخ ها با توجه به موارد ذکر شده در جدول ۲ صورت گرفت. نتایج بهینه یابی نشان داد که بهترین حجم مخصوص نان بربری و خواص رئولوژیکی خمیر زمانی حاصل می شود که مدت زمان مخلوط کردن خمیر در سرعت بالا و پائین به ترتیب ۷/۱۷ و ۲ دقیقه باشد. در این حالت مقادیر چسبندگی، پیوستگی، سفتی، چسبناکی، ارتجاعیت خمیر و حجم مخصوص نان بربری به ترتیب عبارت بودند از ۴/۳۵ نیوتن ثانیه، ۰/۵۸، ۴/۲۵ نیوتن، ۱۰۵/۰۳ گرم ثانیه، ۰/۱۶ و ۴/۸ سانتی مترمکعب بر گرم. در مقایسه ای که بین نان بربری تولیدی در شرایط بهینه و نان بربری تولیدی در شرایط



شکل ۶. نمودار سطح پاسخ تغییرات حجم مخصوص نان بربری در مراحل مختلف تولید نان (مدت زمان مخلوط کردن خمیر با سرعت بالا MTHS، مدت زمان مخلوط کردن خمیر با سرعت پائین MTLs).

منابع

- Alava, J. M., Millar, S. J and Salmon S. E. 2001. The Determination of Wheat Breadmaking Performance and Bread Dough Mixing Time by NIR Spectroscopy for High Speed Mixers. *Journal of Cereal Science*, 33:71-81.
- Armero, E and Collar, C.1996. Antistaling Additives, Flour Type and Sourdough Process Effects on Functionality of Wheat Doughs. *Journal of food science*, 61(2):299-303.

- Bloksma, A. H. 1975. Thiol and disulfide groups in dough rheology. *Journal of Cereal Chemistry*, 52:170-183.
- Campbell, G. M., Herrero-Sanchez, R., Payo-Rodriguez, R and Merchan, M. L. 2001. Measurement of dynamic dough density and the effect of surfactants and flour type on aeration during mixing and gas retention during proofing. *Journal of Cereal Chemistry*, 78:272-277.
- Chin, N. L and Campbell, G. M. 2005. Dough aeration and rheology: Part 2. Effects of flour type, mixing speed and total work input on aeration and rheology of bread dough. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85:2194-2202.
- Collar, C and Armero, E. 1996. Physico-chemical mechanisms of bread staling during storage: Formulated doughs as a technological issue for improvement of bread functionality, *Recent Research Developments in Nutrition*: 115-143.
- Danno, G and Hosney, R. C. 1982. Effects of dough mixing and rheologically active compounds on relative viscosity of wheat proteins. *Journal of Cereal Chemistry*, 59:196-198.
- Dreese PC, Faubion, J. M., Hosney, R. C. 1988. Dynamic rheological properties of flour, Gluten-starch doughs. 1. Temperature-dependent changes during heating. *Journal of Cereal Chem* 65: 348-353.
- Faubion, J. M and R.C. Hosney.1997. The viscoelastic properties of wheat flour doughs. In: Faridi, H. and J.M. Faubion (eds.), *Dough Rheology and Baked Product Texture*: 29-63.
- Finney, K. F., Jones, B. L and Shogren, M. D. 1982. Functional (bread-making) properties of wheat protein fractions obtained by ultracentrifugation. *Journal of cereal chemistry*, 59: 449.
- Grosch, W and Wieser, H. 1999. Redox reactions in wheat dough as affected by ascorbic acid. *Journal of Cereal Science*, 29:1-16.
- Hamer, R. J. and Lichtendonk, W. J. 1987. Structure-function studies on gluten proteins. Reassembly of glutenin proteins after mixing. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on 'Gluten Proteins'* (R. La 'sztyty and F. Be 's. 'ke eds), World Scientific Publishers, Singapore, 227-237.
- Hosney, R. C and Rogers, D. E. 1990. The formation and properties of wheat flour doughs. *Journal of Critical Review of Food Science Nutrition*, 29, 74-93.
- Hosney, R. C and Rogers, D. E. 1990. The formation and properties of wheat flour doughs. *Journal of Critical Review of Food Science Nutrition*, 29, 74-93.
- Kim, Y. R and Cornillon, P. 2001. Effects of Temperature and Mixing Time on Molecular Mobility in Wheat Dough. *Journal of Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, 34: 417-423.
- Maleki, M., Vetter, J. L., and Hoover, W.J. 1981. The Effect of Emulsifiers, Sugar, Shortening and Soya Flour on the Staling of Barbari Flat Bread. *Journal of science food agriculture*, 32:1209-1211.
- Mani, K., Eliasson, A., Lindah, L and Trägårdh, C. H. 1992. Rheological properties and breadmaking quality of wheat flour doughs made with different dough mixers. *Journal of Cereal Chemistry*, 69: 222-225.
- Manohar, R. S and Haridas, P. R. 1997. Effect of Mixing Period and Additives on the Rheological Characteristics of Dough and Quality of Biscuits. *Journal of Cereal Science*, 25: 197-206.
- Martin DJ, Stewart BG. *Journal of Cereal Foods World* 36: 502-504.
- Muller, H. G. 1975. Rheology and the conventional bread and biscuit making process. *Journal of Cereal Chemistry*, 52(3, II):89r.
- Navickis, L. L., Anderson, R. A., Bagley, E. B., and Jasberg, B. G. 1982. Viscoelastic properties of wheat flour doughs: Variation of dynamic moduli with water and protein content. *J. Texture Stud.* 13:249-264.
- Peighambaroust, S.H., van Brenk, S., van der Goot, A.J., Hamer, R.J and Boom, R.M. 2007. Dough processing in a Couette-type device with varying eccentricity: effect on glutenin macro-polymer properties and dough microstructure. *Journal of Cereal Science*, 45(1):34-48.
- Peighambaroust, S.H., van der Goot, A.J., Hamer, R.J and Boom, R.M. 2005. Effect of simple shear on the physical properties of glutenin macro-polymer (GMP), *Journal of Cereal Science*, 42(1): 59-68.
- Peighambaroust, S.H., van der Goot, A.J., van Vliet, T., Hamer, R.J and Boom, R.M. 2006. Microstructure formation and rheological behaviour of dough under simple shear flow. *Journal of Cereal Science*, 43(2): 183-197
- Saunders, S. R., Hamann, D. D. and Lineback, D. R. 1992. A systems approach to food material adhesion. *Journal of Lebensm Wiss u Technologie*, 25:309-315.
- Szczeniak, A. S. 1963. Classification of textural characteristics. *Journal of food science*, 28: 385-389.
- Wang, G. I. J., Faubion, J.M., Hosney, R. C.1992. Studies of the breakdown and reformation of SDS insoluble glutenin proteins with dough mixing and resting. *Journal of Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 25: 228-231.
- Weegels, p. L., Hamer, R. J and Schofield, J. D. 1997. Depolymerisation and Re-polymerisation of Wheat Glutenin During Dough Processing. II. Changes in Composition. *Journal of Cereal Science*, 25:155-163.
- Weegels, p. L., Hamer, R. J and Schofield, J. D. 1997. Depolymerisation and Re-polymerisation of Wheat Glutenin During Dough Processing. II. Changes in Composition. *Journal of Cereal Science*, 25:155-163.
- Weegels, p. L., Hamer, R. J and Schofield, J. D. 1997. Depolymerisation and Re-polymerisation of Wheat Glutenin During Dough Processing. II. Changes in Composition. *Journal of Cereal Science*, 25:155-163.
- Weipert, D. 1987. The Benefits of Basic Rheometry in Studying Dough Rheology. *Journal of cereal chemistry*, 67(4): 311-317.