نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۱، شماره ۴، مهر- آبان ۱۳۹۴، ص. ۳۰۸-۲۹۶

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 11, No. 4, Oct- Nov 2015, p. 296-308

# مدل‌سازی قوام خمیرترش و ارزیابی تاثیر آن بر ویژگی‌های نان حاصل از آردهای ایرانی به عنوان تابعی از شرایط تخمیر کشت آغازگر اختصاصی

سیّد علی مرتضوی[۱]- فخری شهیدی[۲*]- علیرضا صادقی[۳]- بلال صادقی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۱۲

## چکیده

در این پژوهش، تاثیر دماهای ۲۸ و ۳۲ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های تخمیر ۱۶و ۲۴ ساعت دو نوع کشت آغازگر اختصاصی شامل *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و نسبت مساوی از مخلوط سویه مذکور با *لاکتوباسیلوس برویس* بر قوام خمیرترش و سپس تاثیر این شرایط تخمیری بر pH و اسیدیته قابل تیتر خمیرترش و همچنین حجم مخصوص پس از پخت، سفتی بافت، عطر و طعم نان‌های خمیرترشی حاصل از آرد مورد استفاده در تهیه نان‌های بربری، تافتون، سنگک و لواش مورد ارزیابی قرار گرفت. قوام این نمونه‌ها بر اساس روش قوام سنجی آدامز، بررسی و با نمونه شاهد مقایسه شد. این آزمایش‌ها در قالب طرح پایه کاملا تصادفی و با چهار تکرار صورت گرفته و مدل‌هایی به منظور ارزیابی شرایط تخمیر کشت آغازگر اختصاصی بر قوام خمیرترش حاصل از آردهای مذکور ارائه گردید. نتایج حاصل نشان داد که شرایط تخمیر بر قوام خمیرترش حاصل از آردهای مورد استفاده در مقایسه با نمونه شاهد، تاثیر معنی‌داری دارد ($p \leq ۰/۰۱$). بر اساس این نتایج، نمونه‌های فرآوری شده با آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در مقایسه با آغازگر دیگر و همچنین نمونه‌های فرآوری شده با آرد بربری در مقایسه با سایر آردها دارای مقادیر گسترش‌پذیری بیشتری بودند. علاوه بر این، در اکثر این تیمارها تفاوت معنی‌داری بین مقادیر اسیدیته قابل تیتر خمیرترش‌های حاصل از آردهای بربری و سنگک با یکدیگر و همچنین خمیرترش‌های حاصل از آردهای تافتون و لواش با یکدیگر مشاهده نشد. مقادیر گسترش پذیری خمیرترش‌های حاصل از آردهای تافتون و لواش نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند اما این تفاوت بین خمیرترش‌های حاصل از آردهای بربری و سنگک کاملا معنی‌دار بود. بیشترین میزان حجم مخصوص نیز در نان فرآوری شده با خمیرترش دارای *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در مقادیر بیشینه دما و زمان تخمیر هنگام استفاده از آرد بربری بدست آمد اما روند تغییرات سفتی بافت، عطر و طعم نان‌های خمیرترشی از الگوی معینی پیروی نکرد.

**واژه‌های کلیدی:** کشت آغازگر اختصاصی، آردهای ایرانی، قوام خمیر، حجم مخصوص نان.

## مقدمه

یکی از راهکارهای ارائه شده به منظور بهبود کیفیّت و کاهش ضایعات نان در کشور، تولید صنعتی آن به کمک آغازگرهای اختصاصی خمیرترش است. هرچند استفاده از خمیرترش جهت فرآوری نان، خصوصا تولید نان‌های محلّی در کشورمان دارای قدمتی دیرینه است اما از آنجا که این نوع خمیرترش از تخمیر خودبخودی و غیر قابل کنترل خمیر باقیمانده از مراحل قبلی فرایند نانوایی حاصل می‌گردد، عموما کیفیّت نان تولیدی با آن بسیار متغیّر و به شدت تابع شرایط فرآوری می‌باشد. علیرغم انجام تحقیقات گسترده در سطح جهان و خصوصا در دو دهه اخیر در زمینه استفاده از کشت‌های آغازگر اختصاصی خمیرترش به منظور بهینه‌سازی فرایند تولید، بهبود کیفیّت، زمان ماندگاری و حتی تامین سلامت افراد جامعه پس از استفاده از آغازگرهای پروبیوتیک در نان، همچنان ضرورت گسترش کاربردی چنین مطالعاتی در صنعت نانوایی کشور، مشهود می‌باشد (مرتضوی، ۱۳۸۶).

فرآیند صنعتی تولید خمیرترش، بر پایه استفاده از آغازگرهای اختصاصی لاکتوباسیل جور و ناجور تخمیر (همو و هترو فرمنتاتیو) و اثرات تقویت کننده آن با فلور میکروبی آرد بوده و بر اساس میکروفلور تصادفی صورت نمی‌گیرد. کشت‌های آغازگری که برای

۱و۲- استادان گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴- استادیار، گروه دامپزشکی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(*- نویسنده مسئول: (Email: fshahidi@um.ac.ir

تولید خمیرترش مصرف می‌شوند شامل کشت‌های آغازگر خالص یا مخلوط به شکل لیوفلیزه و کشت‌های آغازگر حاوی گونه‌های فعّال هستند (Katina, 2005). به طور کلی سه نوع خمیرترش بر اساس فلور میکروبی و نوع مصرف آنها وجود دارد. نوع اول غالبا به صورت سنّتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (تخمیر مخلوط آرد و آب به کمک فلور میکروبی موجود در آرد). در نوع دوم که به خمیرترش آرومایی معروف است آغازگرهای لاکتوباسیلی که به زمان تخمیر طولانی‌تری احتیاج دارند موجود بوده و معمولا به صورت مایع استفاده می‌شود. در نوع سوم خمیرترش که به شکل پودر عرضه می‌گردد، سویه‌های لاکتوباسیلی وجود دارند که به دمای بالاتر و زمان کوتاه‌تر تخمیر نیاز دارند (Clarke and Arendt, 2005).

در طی چند سال اخیر، پژوهش‌هایی در خصوص استفاده از آغازگرهای اختصاصی خمیرترش به منظور بهبود کیفیّت و زمان ماندگاری نان در کشور انجام شده است. به عنوان نمونه، سرفراز و همکاران (۱۳۸۷)، اثرات متقابل باکتری‌های اسید لاکتیک (کازئی و فرمنتوم) و مخمّر نانوایی در تخمیر خمیرترش مایع را مورد بررسی قرار داده‌اند. پژوهشگران مذکور، مقادیر رطوبت، حجم مخصوص، ویژگی‌های حسّی و بیاتی نان‌های خمیرترشی را با نمونه شاهد به عنوان تابعی از سرعت اسیدیفیکاسیون، مقایسه کرده و کیفیّت این نمونه‌ها را برتر دانستند.

صادقی و همکاران (۱۳۸۷) نیز مدل‌هایی جهت بهبود حجم و تاخیر در بیات شدن نان نیمه‌حجیم با استفاده از خمیرترش ارائه نمودند. این محققین همچنین تاثیر استفاده از خمیرترش دارای کشت‌های آغازگر اختصاصی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و *لاکتوباسیلوس سانفرانسیسیس* را بر زمان ماندگاری میکروبی و خواص حسّی و همچنین کاهش بیاتی در نان بربری به عنوان تابعی از شرایط تخمیر (دما، زمان و نوع کشت آغازگر) مورد مطالعه قرار داده‌اند. بر اساس یافته‌های این پژوهش‌ها، سویه‌های میکروبی مورد استفاده، در صورت کنترل شرایط تخمیر می‌توانند به طور معنی‌داری، بیاتی، سفتی بافت، فساد قارچی و باکتریایی نان بربری را در مقایسه با نمونه شاهد، کاهش داده و سبب بهبود حجم مخصوص پس از پخت، تخلخل، احساس دهانی، عطر و طعم و نهایتا پذیرش کلّی آن شوند (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸).

خراسانچی و همکاران (۱۳۹۰ و ۱۳۹۲) نیز خواص ضد کپکی آغازگرهای *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و *لاکتوباسیلوس روتری* و همچنین قابلیت استفاده از آنها در فرآوری خمیرترش را مورد مطالعه قرار داده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده توسط این محققین، خمیرترش تهیه شده با آغازگر *لاکتوباسیلوس روتری* باعث تولید نانی با خصوصیات حسی بهتر، نرخ پایین‌تر بیاتی و زمان ماندگاری بالاتر نسبت به نان تهیه شده با آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* گردیده و همچنین نمونه‌های شاهد در مقایسه با نان‌های خمیرترشی pH بالاتر، اسیدیته قابل‌تیتر پایین‌تر و میزان حجم بیشتری داشتند. علاوه بر این، میزان رشد کپک آسپرژیلوس نایجر در محیط شاهد به طور معنی‌داری بیشتر از محیط‌های تهیه شده از مایع رویی خمیرترش حاوی این آغازگرها بوده است.

مفاهیم مرتبط با رئولوژی خمیر در مباحث طراحی خط تولید و انتخاب تجهیزات فرآوری نان، اهمیت بسزایی دارد. به گونه‌ای که حتی گاهی افزودن بهبود دهنده‌های خاص، جهت اصلاح رئولوژی خمیر یک ضرورت تکنولوژی محسوب می‌شود. هر یک از مراحل مختلف فرایند نانوایی نظیر مخلوط کردن اجزاء، تخمیر و پخت، تاثیر منحصر به فردی بر خصوصیات رئولوژی خمیر دارند. از سوی دیگر، سهولت پهن شدن و جریان یافتن خمیر نیز یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر کیفیّت نان‌های تولیدی به روش صنعتی است که بستگی زیادی به قوام نمونه به عنوان یک شاخص رئولوژی خواهد داشت (Dobraszczyk and Morgenstern, 2003).

تخمیر و خصوصا تخمیر با خمیرترش در مقایسه با مراحل دیگر فرایند نانوایی، پیچیده‌ترین تاثیر را بر خصوصیات رئولوژی خمیر می‌گذارد. در این مرحله ضمن تولید حباب‌های گاز و متابولیت‌هایی میکروبی، بعضا تغییرات غیر قابل پیش‌بینی در الگوی جریان، رخ می‌دهد. هرچند به موازات افزایش تولید گاز و اسیدهای آلی عموما کاهش چشمگیر دانسیته و ویسکوزیته خمیر دیده می‌شود اما از سوی دیگر تولید متابولیت‌هایی نظیر پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی و پیش‌سازهای پروتئینی سبب افزایش ویسکوزیته و قوام خمیر خواهند شد (Wehrle and Arendt, 1998).

تاکنون برخی از پژوهشگران به مطالعه تغییر خصوصیات رئولوژیکی خمیر، تحت تاثیر شرایط تخمیر خمیرترش پرداخته‌اند. برای نمونه، Wehrle, Arendt (۱۹۹۸) تاثیر تخمیر اتفاقی و کنترل شده خمیرترش را بر رئولوژی خمیر مطالعه کرده‌اند. علاوه بر این، Clarke (۲۰۰۴)، همچنین Angioloni (۲۰۰۶) خواص بنیادی رئولوژی خمیر را به عنوان تابعی از شرایط تخمیر خمیرترش مورد بررسی قرار داده‌اند. Gocmen و همکاران (۲۰۰۷) نیز تاثیر تخمیر خمیرترش را بر رئولوژی خمیر ارزیابی نموده‌اند. بر اساس نتایج این پژوهشگران، از آنجا که رفتار رئولوژی خمیرترش به شدت تحت تاثیر متابولیت‌های میکروبی قرار می‌گیرد لذا برای ارزیابی مناسب‌تر آن باید شرایط تخمیر، کنترل گردد.

با در نظر گرفتن اثراتی که استفاده از خمیرترش در بهبود کیفیّت، زمان ماندگاری و ارزش تغذیه‌ای نان دارد لازم است جهت کاربرد صنعتی آن به عنوان جایگزین افزودنی‌های نانوایی، مطالعات بیشتری صورت گیرد.

جدول۱- خصوصیات آردهای مورد استفاده که بر اساس روش‌های استاندارد* تعیین شده است

| | درصد استخراج | درصد خاکستر | درصد پروتئین | درصد گلوتن مرطوب | درصد رطوبت |
|---|---|---|---|---|---|
| آرد بربری | ۷۶ | ۰/۷۵ | ۱۰/۹۰ | ۲۸/۸۵ | ۱۳/۸۰ |
| آرد تافتون | ۸۴ | ۱/۱۰ | ۱۱/۶۰ | ۲۸/۱۰ | ۱۲/۳۵ |
| آرد سنگک | ۹۲ | ۱/۵۵ | ۱۲/۲۵ | ۲۶/۴۰ | ۸/۱۰ |
| آرد لواش | ۸۱ | ۰/۹۵ | ۱۱/۳۰ | ۲۸/۵۵ | ۱۲/۶۰ |

* استاندارد ملّی ایران، ۱۳۸۱ و AACC, 2000.

این پژوهش به منظور ارزیابی تاثیر دما و زمان تخمیر کشت‌های آغازگر اختصاصی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و *لاکتوباسیلوس برویس* بر قوام خمیرترش حاصل از آرد نان‌های بربری، تافتون، سنگک و لواش به عنوان نان‌های غالب تولیدی در کشور و همچنین بررسی تاثیر عوامل موثر در تخمیر خمیرترش بر حجم مخصوص، سفتی بافت، عطر و طعم نان‌های خمیرترشی جهت استفاده از نتایج حاصل در بهینه‌سازی فرایند تولید صنعتی این فرآورده‌ها صورت پذیرفت.

## مواد و روش‌ها

### مواد خام

سویه‌های میکروبی (*لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، زیر گونه *پلانتاروم* DSM 20174 و *لاکتوباسیلوس برویس*، *واریته لیندنری* DSM 20663) مورد استفاده در این پژوهش از کلکسیون میکروبی آلمان به صورت لیوفلیزه، خریداری شدند. مخمّر فعال خشک ساکارومایسس سرویزیه نیز از شرکت ایران ملاس فریمان و چهار نوع آرد نانوایی مصرفی از سازمان غلّه مشهد بر اساس استانداردهای ملّی ایران (۱۳۸۱) برای تولید نان‌های بربری، تافتون، سنگک و لواش، تهیه و درصد استخراج، خاکستر، پروتئین، گلوتن مرطوب و رطوبت نمونه‌های آرد بر اساس روش‌های مدوّن (AACC, 2000) تعیین گردید (جدول۱). همچنین در انجام این پژوهش، محیط‌های کشت میکروبی و محلول‌های شیمیایی ساخت شرکت مرک آلمان مورد استفاده قرار گرفتند.

### تهیه خمیرترش با استفاده از کشت‌های آغازگر اختصاصی

برای تهیه خمیرترش، ابتدا سویه‌های میکروبی مورد استفاده در محیط‌های کشت اختصاصی، فعال شده و پس از ایجاد تعداد پرگنه معیّن، توسط سانتریفوژ خالص‌سازی گشتند. سپس معادل ۱/۵٪ وزنی نسبت به آرد از این سلول‌ها و ۰/۲۵٪ وزنی از مخمّر خشک فعال ساکارومایسس سرویزیه با مقادیر یکسانی از آب و آرد مخلوط گردید. در ادامه از شرایط تخمیر متفاوتی (دماهای ۲۸ و ۳۲ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ۱۶و ۲۴ ساعت دو نوع کشت آغازگر اختصاصی شامل لاکتوباسیلوس پلانتاروم و نسبت مساوی از مخلوط سویه مذکور با لاکتوباسیلوس برویس) برای تهیه نمونه‌های خمیرترش استفاده شد. لازم به ذکر است که محدوده شرایط تخمیر اعمال شده در این پژوهش، در برگیرنده تیمارهایی است که تاثیر معنی‌دارتری بر بهبود کیفیّت و زمان ماندگاری نان بربری داشته‌اند (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸) و لذا در این مطالعه نیز لحاظ شده‌اند. همچنین خاطر نشان می‌گردد که نمونه شاهد در این پژوهش برای هر خمیرترشی با استفاده از همان نوع آرد مورد استفاده در تولید خمیرترش و با حذف کشت آغازگر و سایر عوامل موثر بر تخمیر خمیرترش یعنی دما و زمان تخمیر به دست آمده است. چرا که در صورت حذف کشت آغازگر به تنهایی و اعمال دما و زمان تخمیر بر مخلوط آب و آرد، قاعدتا با تخمیر بسیار پیچیده‌تری مواجه خواهیم گردید که کنترل آن و همچنین ارزیابی عوامل موثر بر آن به سادگی امکان‌پذیر نخواهد بود. به عبارت ساده، نمونه شاهد صرفا مخلوط آب و مخمر ساکارومایسس سرویزیه با هر یک از آردهای مذکور بود تا عامل تخمیر خمیرترش از تیمار مورد مطالعه حذف گردد.

### تعیین اسیدیته قابل تیتر خمیرترش

برای این منظور معادل ۱۰ گرم از خمیرترش با ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر، به خوبی مخلوط گردیده و محلول مذکور توسط سود ۰/۱ نرمال تا pH معادل ۸/۵ تیتر شد و اسیدیته بر حسب میلی‌لیتر سود مصرفی محاسبه گردید (Katina, 2005).

### اندازه‌گیری قوام نمونه‌های خمیرترش

در این پژوهش برای تعیین قوام نمونه‌های خمیرترش از روش قوام‌سنجی آدامز که معمولا برای تعیین قوام سیالات تابع قانون توان، نظیر انواع خمیر[1] و خمیرهای رقیق[2] کاربرد دارد، استفاده به عمل آمد (Piau and Debiane, 2005) و زمان این آزمون نیز معادل ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شد. قوام سنج‌آدامز در اصول کاری شباهت زیادی به قوام‌سنج بوستویک دارد. در این روش سریع ارزیابی قوام، مسافت طی شده مقدار معینی از فراورده غذایی نسبت به یک نقطه مبنا در طی مدت زمان مشخص، تعیین می‌شود. بدین منظور معمولا از یک صفحه مربع شکل از جنس پلاستیک فشرده که بر روی آن فاصله از نقطه مرکزی به صورت دوایر متحدالمرکزی مشخص شده است، استفاده می‌گردد. نمونه توسط یک ظرف مخروطی شکل در دایره

1- Dough
2- Batter

مرکزی قرار داده شده و به یکباره جریان می‌یابد. سپس فاصله طی شده توسط سیال، حداقل در دو نقطه مقابل یکدیگر، تعیین می‌گردد (Steffe, 1996).

### ارزیابی حجم مخصوص، سفتی بافت، عطر و طعم نان‌های خمیرترشی

پس از فرآوری نان با استفاده از خمیرترش‌های تولیدی (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸)، حجم مخصوص این نان‌ها ۷۲ ساعت پس از پخت، به روش جایگزینی دانه کلزا (بر اساس استاندارد A-A-20126E METRIC) تعیین و با نان‌های شاهد مقایسه شد. نمونه‌های مورد استفاده دارای وزن‌های یکسان بوده و از مرکز هندسی نان تهیه گردیدند (Katina, 2005). علاوه بر این، سفتی بافت و همچنین عطر و طعم نان‌های تولیدی نیز ۷۲ ساعت پس از پخت بر مبنای مقیاس ۵-۱ (۱ بالاترین و ۵ کمترین امتیاز) توسط داوران آموزش دیده مورد ارزیابی قرار گرفت (Katina *et al*., 2006).

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

این مطالعه در قالب طرح پایه کاملا تصادفی به روش فاکتوریل و با چهار تکرار انجام شد. برای ارزیابی رابطه بین عوامل موثر در تخمیر با قوام خمیرترش حاصل از آرد نان‌های بربری، تافتون، سنگک و لواش از رگرسیون چند متغیره و به منظور مقایسه میانگین‌ها و بررسی اثرات تیمارها از آزمون دانکن استفاده گردید. نرم‌افزارهای آماری مورد استفاده در این پژوهش نیز شامل SAS و Excel بودند.

## نتایج و بحث

آنالیز آماری نتایج این مطالعه نشان داد که هر چهار عامل مورد بررسی یعنی نوع آرد، نوع کشت آغازگر و همچنین دما و زمان تخمیر هر یک به تنهایی دارای تاثیر معنی‌داری ($p \leq ۰/۰۱$) بر قوام خمیرترش هستند اما صرفا اثر متقابل نوع آرد و زمان تخمیر در محدوده‌های مورد ارزیابی، معنی‌دار بود (جدول۲). علاوه بر این در اکثر نمونه‌ها با افزایش زمان و دمای تخمیر در هر دو نوع کشت آغازگر مورد استفاده، میزان گسترش‌پذیری خمیرترش افزایش یافت ولی نمونه‌های فرآوری شده توسط کشت آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در مقایسه با کشت آغازگر دیگر دارای گسترش‌پذیری بیشتری بودند. بر اساس مقادیر قوام حاصل از شرایط مورد بررسی در این مطالعه می‌توان خمیرترش‌های تولیدی از آرد نان‌های لواش و تافتون را خصوصا در صورت استفاده از کشت آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در یک گروه قرار داد (شکل۱، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد) که نسبت به خمیرترش‌های حاصل از آرد نان‌های بربری و سنگک به ترتیب دارای مقادیر گسترش‌پذیری کمتر و بیشتری بودند.

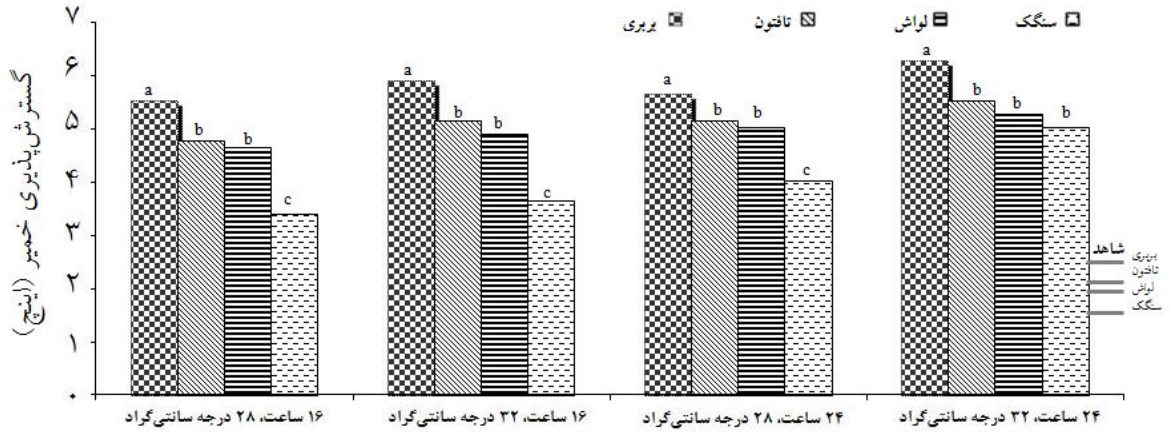
بررسی ضریب رگرسیون، همچنین تاثیر معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۱$) میزان خاکستر (درصد استخراج) آرد را بر مقدار گسترش‌پذیری خمیرترش نشان داد حال آنکه گلوتن آرد، چنین تاثیری نداشت. علاوه بر این، رابطه خاکستر آرد با مقدار گسترش‌پذیری خمیرترش نیز دارای ضریب همبستگی منفی بود (جدول۳).

**جدول۲- نتایج آنالیز واریانس تاثیر عوامل مورد بررسی بر قوام خمیرترش**

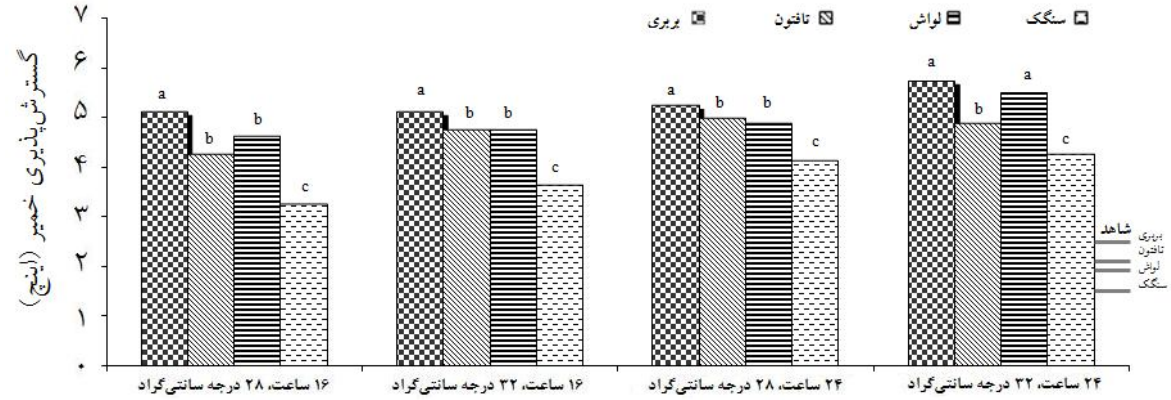
| عامل مورد بررسی | F Value | Pr > F | Anova SS | Mean Square |
|---|---|---|---|---|
| نوع آرد | ۱۲۸/۲۷ | <۰/۰۰۰۱ | ۴۵/۱۱ | ۱۵/۰۳ |
| نوع آغازگر | ۲۰/۴۱ | <۰/۰۰۰۱ | ۲/۳۹ | ۲/۳۹ |
| زمان تخمیر | ۷۰/۳۸ | <۰/۰۰۰۱ | ۸/۲۵ | ۸/۲۵ |
| دمای تخمیر | ۳۳/۷۳ | <۰/۰۰۰۱ | ۳/۹۵ | ۳/۹۵ |
| اثر متقابل نوع آرد و نوع آغازگر | ۳/۴۴ | <۰/۰۱۹۴ | ۱/۲۰ | ۰/۴۰ |
| اثر متقابل نوع آرد و زمان تخمیر | ۴/۲۸ | <۰/۰۰۶۷ | ۱/۵۰ | ۰/۵۰ |
| اثر متقابل نوع آرد و دمای تخمیر | ۰/۰۲ | <۰/۸۹۷۵ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ |
| اثر متقابل نوع آرد با زمان و دمای تخمیر | ۰/۵۵ | <۰/۶۴۹۴ | ۰/۱۹ | ۰/۰۶ |

**جدول۳- نتایج آنالیز واریانس تاثیر خاکستر و گلوتن آرد بر قوام خمیرترش**

| عامل مورد بررسی | Pr > \|t\| | Parameter Estimate | Standard Error | t Value |
|---|---|---|---|---|
| خاکستر آرد | ۰/۰۰۸ | -۲/۴۹۰ | ۰/۹۲۵ | -۲/۶۹ |
| گلوتن آرد | ۰/۵۷۹ | -۰/۱۵۹ | ۰/۲۸۷ | -۰/۵۶ |




**شکل۱- ارزیابی تاثیر نوع آرد مصرفی بر میزان گسترش‌پذیری خمیرترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم در محدوده‌های یکسان از نظر زمان و دمای تخمیر. حروف غیر یکسان در هر یک از این محدوده‌ها مبیّن تفاوت معنی‌دار می‌باشد.**




**شکل۲- ارزیابی تاثیر نوع آرد مصرفی بر میزان گسترش‌پذیری خمیرترش حاصل از مخلوط سویه‌های لاکتوباسیلوس پلانتاروم و برویس در محدوده‌های یکسان از نظر زمان و دمای تخمیر. حروف غیر یکسان در هر یک از این محدوده‌ها مبیّن تفاوت معنی‌دار می‌باشد.**

در اشکال ذیل، تغییرات میزان گسترش‌پذیری خمیرترش حاصل از آرد نان‌های بربری، تافتون، لواش و سنگک به عنوان تابعی از دما و زمان تخمیر کشت آغازگر اختصاصی نشان داده شده است.

بر این اساس، با افزایش زمان و دمای تخمیر در صورت استفاده از کشت آغازگر جور تخمیر (*لاکتوباسیلوس پلانتاروم*) در مقایسه با مخلوط سویه‌های جور تخمیر (*لاکتوباسیلوس پلانتاروم*) و ناجور تخمیر (*لاکتوباسیلوس برویس*)، میزان افزایش گسترش‌پذیری خمیرترش تولیدی مشهودتر و روند تغییرات نیز بسیار منظم‌تر بود.

مدل‌های شماره ۱ تا ۴ نیز برای محاسبه میزان گسترش‌پذیری خمیرترش بر حسب دما و زمان تخمیر و به ترتیب برای نمونه‌های حاصل از آرد نان‌های بربری، تافتون، سنگک و لواش به دست آمد. در این مدل‌ها (الف)، مبیّن استفاده از کشت آغازگر لاکتوباسیلوس پلانتاروم و (ب)، مخلوط دو سویه لاکتوباسیل می‌باشد

.

گسترش‌پذیری خمیرترش = ۱/۴۳۸ + ۰/۰۳۱ (زمان تخمیر) + ۰/۱۲۵ (دمای تخمیر) $R^2$= ۰/۵۱ (۱-الف)

گسترش‌پذیری خمیرترش = ۲/۵ + ۰/۰۴۷ (زمان تخمیر) + ۰/۶۳ (دمای تخمیر) $R^2$= ۰/۴۲ (۱-ب)

گسترش‌پذیری خمیرترش = ۱/۳۷۵ + ۰/۰۴۷ (زمان تخمیر) + ۰/۰۹۴ (دمای تخمیر) $R^2$= ۰/۴۰ (۲-الف)

گسترش‌پذیری خمیرترش = ۲/۲۱۹ + ۰/۵۵ (زمان تخمیر) + ۰/۰۴۷ (دمای تخمیر) $R^2$= ۰/۳۰ (۲-ب)

گسترش‌پذیری خمیرترش = ۳/۱۸۸ + ۰/۱۲۵ (زمان تخمیر) + ۰/۱۵۶ (دمای تخمیر) $R^2$= ۰/۶۹ (۳-الف)

$R^2$= ۰/۶۳ (دمای تخمیر) ۰/۰۶۳ + (زمان تخمیر) ۰/۹۴ + ۰/۰۶۳ = گسترش‌پذیری خمیرترش (۳–ب)

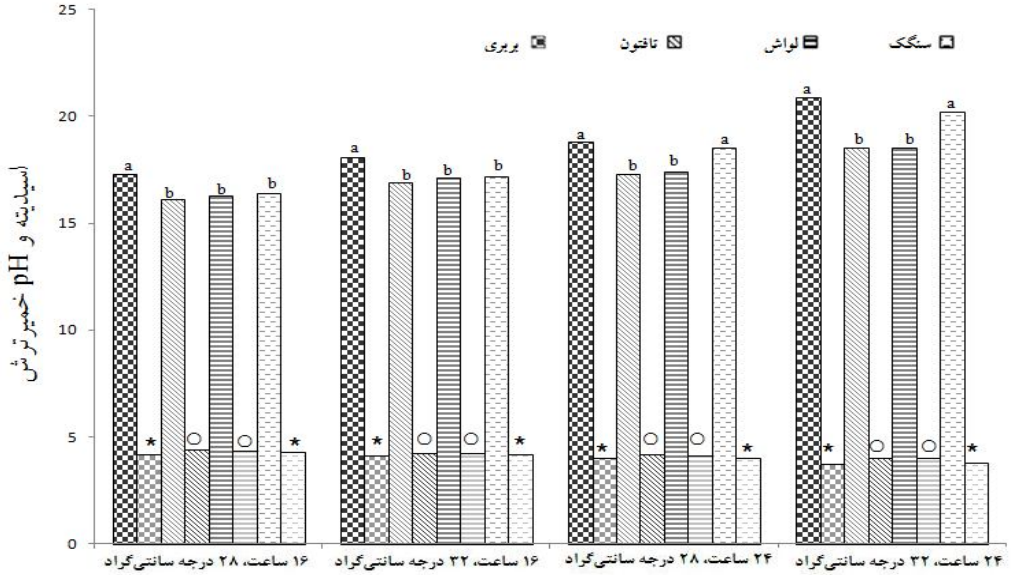
$R^2$= ۰/۵۷ (دمای تخمیر) ۰/۶۳ + (زمان تخمیر) ۰/۴۷ + ۲/۱۲۵ = گسترش‌پذیری خمیرترش (۴–الف)

$R^2$= ۰/۴۵ (دمای تخمیر) ۰/۹۴ + (زمان تخمیر) ۰/۰۶۳ + ۰/۸۷۵ = گسترش‌پذیری خمیرترش (۴–ب)

همچنین ارزیابی مقادیر pH و اسیدیته قابل تیتر نشان داد که با افزایش زمان و دمای تخمیر، مقدار pH خمیرترش حاصل از هر دو نوع کشت آغازگر مورد استفاده، کاهش و میزان اسیدیته قابل تیتر آنها افزایش می‌یابد (اشکال۳ و ۴). این تغییرات در مورد کشت آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، منظم‌تر بود. بیشترین مقدار اسیدیته قابل تیتر در خمیرترش تهیه شده با *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در دمای تخمیر ۳۲ درجه سانتی‌گراد و زمان تخمیر ۲۴ ساعت هنگام استفاده از آردهای بربری و سنگک و کمترین مقدار آن نیز در خمیرترش تهیه شده با مخلوط *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و *لاکتوباسیلوس برویس* در دمای تخمیر ۲۸ درجه سانتی‌گراد و زمان تخمیر ۱۶ ساعت هنگام استفاده از آردهای تافتون و لواش مشاهده گردید. علاوه بر این، مقادیر اسیدیته قابل تیتر خمیرترش حاصل از آرد سنگک در تمامی تیمارها از اسیدیته قابل تیتر خمیرترش‌های حاصل از آردهای تافتون و لواش بیشتر بود.

در اکثر تیمارها تفاوت معنی‌داری بین مقادیر اسیدیته قابل تیتر و pH خمیرترش‌های حاصل از آردهای بربری و سنگک با یکدیگر و همچنین خمیرترش‌های حاصل از آردهای تافتون و لواش با یکدیگر مشاهده نشد (اشکال۳ و ۴). مقادیر گسترش‌پذیری خمیرترش‌های حاصل از آردهای تافتون و لواش نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند اما این تفاوت بین خمیرترش‌های حاصل از آردهای بربری و سنگک کاملا معنی‌ار بود (شکل‌های ۱ و ۲).

نتایج حاصل از ارزیابی تاثیر شرایط مورد استفاده در تخمیر کشت آغازگر اختصاصی خمیرترش بر حجم مخصوص، سفتی بافت و همچنین عطر و طعم نان‌های تولیدی نیز در جدول۴ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، میزان حجم مخصوص نان‌های حاصل از آرد بربری از همه نمونه‌ها بیشتر بود. همچنین حجم مخصوص نمونه شاهد با نان‌های خمیرترشی حاصل از آرد بربری دارای تفاوت معنی‌دار بود اما در سایر نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری بین حجم مخصوص نمونه شاهد با نان‌های خمیرترشی مشاهده نگردید. بیشترین میزان حجم مخصوص نیز در نان فرآوری شده با خمیرترش دارای *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در مقادیر بیشینه دما و زمان تخمیر هنگام استفاده از آرد بربری به دست آمد. جالب اینکه خمیرترش مورد استفاده در فرآوری این نمونه دارای بیشترین مقدار اسیدیته قابل تیتر و همچنین بیشترین میزان گسترش‌پذیری نیز بود. علاوه بر این در محدوده‌های مورد ارزیابی عموما با افزایش زمان و دمای تخمیر در صورت استفاده از کشت آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در مقایسه با کشت آغازگر دیگر، میزان افزایش حجم مخصوص نان تولیدی مشهودتر بود.




**شکل۳- مقادیر اسیدیته قابل تیتر و pH خمیرترش حاصل از لاکتوباسیلوس پلانتاروم در محدوده‌های یکسان از نظر زمان و دمای تخمیر. حروف (اسیدیته قابل تیتر) یا علایم (pH) غیر یکسان در هر یک از این محدوده‌ها مبیّن تفاوت معنی‌دار می‌باشد.**

**شکل٤- مقادیر اسیدیته قابل تیتر و pH خمیرترش حاصل از مخلوط سویه‌های لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس برویس در محدوده‌های یکسان از نظر زمان و دمای تخمیر.**

**حروف (اسیدیته قابل تیتر) یا علایم (pH) غیر یکسان در هر یک از این محدوده‌ها مبیّن تفاوت معنی‌دار می‌باشد.**

بر خلاف حجم مخصوص نان‌های خمیرترشی، روند تغییرات سفتی بافت و همچنین عطر و طعم آنها از الگوی معینی پیروی نکرد. به نحوی که کمترین میزان سفتی بافت در نان فرآوری شده با آرد بربری و خمیرترش دارای کشت آغازگر حاوی مخلوط دو سویه *لاکتوباسیلوس*، تحت ۲۴ ساعت تخمیر در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید. بهترین عطر و طعم نیز در نان فرآوری شده با آرد تافتون و خمیرترش دارای کشت آغازگر حاوی مخلوط دو سویه *لاکتوباسیلوس* در مقادیر بیشینه دما و زمان تخمیر گزارش شد. همچنین میانگین سفتی بافت نان‌های تولیدی با آرد بربری و در صورت استفاده از آغازگر *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، و میانگین عطر و طعم آنها در صورت استفاده از آرد تافتون و آغازگر مذکور در مقایسه با مقادیر میانگین سایر تیمارها بهتر ارزیابی گردید. در مجموع، عطر و طعم نان‌های تولیدی با آردهای تافتون و لواش در مقایسه با نمونه‌های حاصل از آردهای سنگک و بربری از پذیرش بالاتری برخوردار بودند (جدول۴).

**جدول٤- مقایسه حجم مخصوص، سفتی بافت و همچنین عطر و طعم نان‌های تولیدی، ۷۲ ساعت پس از پخت (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری نداشتند)**

| نمونه نان | حجم مخصوص (میلی‌لیتر بر گرم) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | بربری | | تافتون | | لواش | | سنگک | |
| شاهد | ۰/۹۲ | c | ۰/۷۵ | c | ۰/۳۸ | a | ۰/۵۱ | ab |
| پ-۱۶-۲۸ | ۱/۴۳ | d | ۰/۷۸ | c | ۰/۳۶ | a | ۰/۵۴ | b |
| پ- ۱۶-۳۲ | ۱/۶۷ | e | ۰/۷۶ | c | ۰/۳۹ | a | ۰/۵۹ | b |
| پ- ۲۴-۲۸ | ۱/۶۴ | e | ۰/۷۷ | c | ۰/۳۵ | a | ۰/۵۲ | ab |
| پ- ۲۴-۳۲ | ۱/۸۱ | e | ۰/۸۳ | c | ۰/۳۸ | a | ۰/۶۳ | b |
| م- ۱۶-۲۸ | ۱/۳۴ | d | ۰/۷۱ | bc | ۰/۳۴ | a | ۰/۵۲ | ab |
| م- ۱۶-۳۲ | ۱/۵۷ | de | ۰/۷۴ | c | ۰/۳۳ | a | ۰/۵۷ | b |
| م- ۲۴-۲۸ | ۱/۵۸ | de | ۰/۷۶ | c | ۰/۳۵ | a | ۰/۵۵ | b |
| م- ۲۴-۳۲ | ۱/۶۹ | e | ۰/۷۶ | c | ۰/۳۶ | a | ۰/۵۱ | ab |

| نمونه نان | سفتی بافت |
|---|---|

| | بربری | | تافتون | | لواش | | سنگک | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شاهد | ۳/۴۴ | e | ۳/۲۹ | de | ۲/۸۳ | c | ۳/۴۹ | e |
| پ-۱۶-۲۸ | ۲/۶۴ | bc | ۲/۹۸ | cd | ۲/۹۲ | cd | ۳/۱۰ | d |
| پ-۱۶-۳۲ | ۲/۱۸ | a | ۳/۰۱ | d | ۳/۰۶ | d | ۲/۹۷ | cd |
| پ-۲۴-۲۸ | ۲/۳۹ | b | ۲/۸۸ | cd | ۲/۷۹ | c | ۲/۹۲ | cd |
| پ-۲۴-۳۲ | ۲/۵۷ | bc | ۲/۷۹ | c | ۲/۷۶ | c | ۲/۸۸ | cd |
| م-۱۶-۲۸ | ۲/۲۲ | a | ۳/۱۶ | de | ۲/۸۴ | c | ۳/۰۶ | d |
| م-۱۶-۳۲ | ۳/۴۵ | e | ۳/۱۱ | d | ۲/۸۰ | c | ۳/۰۱ | d |
| م-۲۴-۲۸ | ۲/۱۱ | a | ۳/۰۴ | d | ۲/۹۳ | cd | ۲/۹۰ | cd |
| م-۲۴-۳۲ | ۲/۹۸ | cd | ۲/۹۵ | cd | ۲/۹۰ | cd | ۳/۴۹ | e |

| نمونه نان | عطر (آروما) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | بربری | | تافتون | | لواش | | سنگک | |
| شاهد | ۳/۰۲ | d | ۲/۹۴ | cd | ۲/۸۶ | cd | ۲/۹۲ | cd |
| پ-۱۶-۲۸ | ۲/۵۵ | bc | ۲/۲۹ | ab | ۲/۹۳ | cd | ۲/۶۱ | bc |
| پ-۱۶-۳۲ | ۲/۱۳ | a | ۲/۳۰ | ab | ۲/۸۱ | c | ۲/۵۷ | bc |
| پ-۲۴-۲۸ | ۲/۴۹ | b | ۲/۱۹ | a | ۲/۸۹ | cd | ۲/۶۰ | bc |
| پ-۲۴-۳۲ | ۲/۶۲ | bc | ۲/۱۱ | a | ۲/۶۴ | bc | ۲/۵۵ | bc |
| م-۱۶-۲۸ | ۲/۵۲ | b | ۲/۴۳ | b | ۲/۳۷ | ab | ۲/۵۳ | b |
| م-۱۶-۳۲ | ۲/۲۴ | a | ۲/۳۵ | ab | ۲/۴۲ | b | ۲/۴۹ | b |
| م-۲۴-۲۸ | ۲/۴۹ | b | ۲/۲۲ | a | ۲/۴۹ | b | ۲/۴۴ | b |
| م-۲۴-۳۲ | ۲/۵۷ | bc | ۲/۰۶ | a | ۲/۳۴ | a | ۲/۹۲ | cd |

| نمونه نان | طعم | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | بربری | | تافتون | | لواش | | سنگک | |
| شاهد | ۳/۰۹ | d | ۲/۷۷ | c | ۲/۷۵ | c | ۲/۷۹ | c |
| پ-۱۶-۲۸ | ۲/۶۲ | bc | ۲/۳۸ | ab | ۲/۷۰ | c | ۲/۵۸ | bc |
| پ-۱۶-۳۲ | ۲/۰۷ | a | ۲/۲۵ | ab | ۲/۷۴ | c | ۲/۵۵ | bc |
| پ-۲۴-۲۸ | ۲/۳۶ | ab | ۲/۱۰ | a | ۲/۷۶ | c | ۲/۴۶ | b |
| پ-۲۴-۳۲ | ۲/۶۴ | bc | ۲/۰۵ | a | ۲/۶۲ | bc | ۲/۴۹ | b |
| م-۱۶-۲۸ | ۲/۵۶ | bc | ۲/۳۹ | ab | ۲/۳۳ | ab | ۲/۴۹ | b |
| م-۱۶-۳۲ | ۲/۱۹ | a | ۲/۲۸ | ab | ۲/۴۱ | b | ۲/۵۱ | b |
| م-۲۴-۲۸ | ۲/۳۲ | ab | ۲/۱۳ | a | ۲/۳۷ | ab | ۲/۳۹ | ab |
| م-۲۴-۳۲ | ۲/۵۴ | b | ۲/۰۲ | a | ۲/۲۶ | ab | ۲/۷۹ | c |

در این جدول، "پ"و "م" به ترتیب به جای پلانتاروم و مخلوط دو سویه لاکتوباسیلوس نوشته شده‌اند و همچنین عدد اول، زمان تخمیر و عدد دوم، دمای تخمیر را نشان می‌دهد.

Wehrle, Arendt (۱۹۹۸) با بررسی ویسکوزیته خمیرترش‌های حاصل از تخمیر خودبخودی و نیز استفاده از کشت‌های آغازگر لاکتوباسیل در بازه زمانی ۷۲ ساعته در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد دریافتند که در نمونه اول (تخمیر خودبخودی) در حین دوره تخمیر، مقدار ویسکوزیته نهایی دارای کاهش بیشتری است. این محققین، پیشنهاد کردند که در زمان‌های طولانی تخمیر خودبخودی به دلیل حضور سویه‌های ناجور تخمیر، امکان تولید طیف گسترده‌ای از متابولیت‌های موثر بر رئولوژی خمیر در مقایسه با نمونه دیگر وجود دارد. کلارک و همکاران (Clarke *et al*., 2004) نشان دادند که در خمیرهای اسیدی شده توسط مواد شیمیایی، تخمیر خودبخودی و تخمیر کنترل شده خمیرترش با افزایش زمان تخمیر در یک بازه زمانی ۲۴ ساعته، مقدار الاستیسیته و ویسکوزیته خمیر کاهش می‌یابد. علاوه بر این، محققین مذکور با بررسی تصاویر میکروسکوپی دریافتند که در حین دوره تخمیر، شبکه گلوتن به یک ساختار بی‌شکل تبدیل گردیده و این عامل سبب تغییر خصوصیات رئولوژیکی خمیر می‌شود. فرایندهای تجزیه‌ای مذکور در طول زمان تخمیر، عامل

کلیدی فرآوری توسط خمیرترش نیز به شمار می‌آیند. آنجیولونی و همکاران (Angioloni *et al*., 2006) با ارزیابی تاثیر pH تخمیر حاصل از مخمّر نانوایی و خمیرترش بر رئولوژی خمیر، نتیجه گرفتند که تفاوت‌های بارزی در اثر استفاده از این دو ترکیب به وجود می‌آید. در پژوهش مذکور، خمیر تولیدی به وسیله خمیرترش دارای الاستیسیته کمتر و گسترش‌پذیری بیشتری در مقایسه با خمیر فرآوری شده توسط مخمّر نانوایی بود. محققین مذکور، تغییرات فیزیکوشیمیایی صورت گرفته در شبکه پروتئینی تحت تاثیر اسید تولیدی در حین تخمیر را دلیل اصلی بروز چنین تفاوت‌هایی عنوان نمودند. گوکمن و همکاران (Gocmen *et al*., 2007) نیز با بررسی دماها و زمان‌های مختلف تخمیر در خمیرترش‌های حاوی باکتری‌های اسید لاکتیک مشاهده کردند که تخمیر در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت منجر به ایجاد خمیری چسبناک شد که نان تولیدی از آن دارای خصوصیات بافتی قابل قبولی نبود در حالی‌که نان حاصل از تخمیر خمیرترش در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت، خصوصیات ساختاری و بافتی مطلوبی داشت. این محققین با مقایسه نمونه‌های تولیدی با نمونه شاهد، شکستن برخی از اتصالات قوی و ایجاد باندهای ضعیف‌تر در شبکه پروتئینی در تخمیرهای طولانی مدت و بالعکس، عدم تجزیه گلوتنین در زمان‌های تخمیر کوتاه مدت به دلیل تاخیر در افت pH را دلیل بروز این رفتارها معرفی نمودند.

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر رئولوژی خمیر، ایجاد ساختار شبکه‌ای گلوتن در حین تولید آن است. از سوی دیگر در نان حاصل از خمیرترش، افزایش اسیدیته دلیل اصلی بسیاری از تغییرات موثر و مفید در خمیر و نان تولیدی محسوب می‌گردد. استفاده از آرد کامل، دماهای بالاتر تخمیر و محتوای آب بیشتر در خمیرترش، تولید اسید در حین تخمیر را افزایش می‌دهد. افزایش دما و زمان تخمیر، خصوصا در صورت استفاده از کشت‌های آغازگر لاکتوباسیل جور تخمیر، سبب افزایش تولید اسید، کاهش نظم در ساختار شبکه‌ای گلوتن و متعاقب آن کاهش قوام و ویسکوزیته خمیر خواهد شد. اما نکته‌ای که در این مورد اهمیت دارد این است که اگرچه کاهش ویسکوزیته و قوام خمیر دارای اثرات غیر قابل انکاری در سهولت انتقال، جریان‌پذیری و پهن شدن خمیر هستند اما افزایش بیش از حد اسیدیته می‌تواند سفتی زودرس بافت نان و بیاتی آن را به دنبال داشته باشد (Clarke and Arendt, 2005; Katina, 2005).

توانایی‌های پروتئولیتیک و آمیلولیتیک باکتری‌های اسید لاکتیک و در کنار آن، قابلیت تولید پلی‌ساریدهای خارج سلولی و دکسترین‌هایی که توانایی تداخل در تنزل کیفیت (ترروگردیشن) نشاسته را دارند، ضمن بهبود نرمی بافت محصول به میزان زیادی بر رئولوژی خمیر نیز تاثیر خواهند گذاشت. علاوه بر این، تغییر و اصلاح پلی‌ساکاریدهای موجود در آرد و انحلال آرابینوگزیلان‌ها در طی تخمیر خمیرترش، مانع از اثر متقابل گلوتن و نشاسته شده و لذا شبکه متفاوتی در مقایسه با تخمیر توسط مخمّر نانوایی در خمیر و نان تولیدی ایجاد خواهد گردید. اثر متقابل انواع باکتری‌های اسید لاکتیک با مخمّر نانوایی نیز در حین تخمیر خمیرترش بر رئولوژی خمیر و حجم مخصوص نان تولیدی موثر است. در صورت استفاده از آغازگر لاکتوباسیل ناجور تخمیر به همراه مخمّر نانوایی، سرعت تخمیر مخمّر، بسیار بیشتر خواهد بود که احتمالا به دلیل توانایی تجزیه سریع‌تر ماکروملکول‌هایی نظیر پروتئین و نشاسته به عنوان مواد غذایی مورد نیاز مخمّر توسط این میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. از سوی دیگر در حضور آغازگر لاکتوباسیل جور تخمیر، سرعت تخمیر مخمّر، کاهش ولی میزان تولید دی‌اکسید کربن به مراتب افزایش می‌یابد (Clarke *et al*., 2004; Katina, 2005). اصولا در حین تخمیر، مقاومت در مقابل جریان و الاستیسیته خمیر، کاهش یافته و به این ترتیب، درجه نرمی و میزان گسترش‌پذیری آن افزایش می‌یابد. با افزایش زمان تخمیر، اجزاء پروتئینی تجزیه شده به یکدیگر متصل خواهند گشت که این فرایند یکی از دلایل اصلی کاهش الاستیسیته در ساختار خمیر عنوان شده است. کاهش مقدار پلیمرهای پروتئینی و تجزیه نسبی شبکه گلوتن در شرایط اسیدی، دلایل دیگر کاهش الاستیسیته این سیستم هستند. همچنین استفاده از مقادیر مناسب خمیرترش در مخلوط نهایی خمیر در ایجاد ساختار مطلوب جهت حفظ دی‌اکسید کربن تولیدی در نان اهمیت زیادی دارد (Angioloni *et al*., 2006; Gocmen *et al*., 2007).

بر اساس نتایج این پژوهش، گلوتن آرد در میزان گسترش‌پذیری خمیرترش تولیدی بی‌تاثیر بود. کلارک و همکاران (Clarke *et al*., 2004) و همچنین آنجیولونی و همکاران (Angioloni *et al*., 2006) نیز نتایج مشابهی را گزارش نموده‌اند. محققان مذکور تبدیل شبکه گلوتن به یک ساختار بی‌شکل و تغییرات فیزیکوشیمیایی صورت گرفته در شبکه پروتئینی تحت تاثیر اسید تولیدی در حین تخمیر را دلیل اصلی این پدیده عنوان کرده‌اند. به طور کلی توانایی پروتئولیتیکی کشت‌های آغازگر موجود در خمیرترش و همچنین تولید اسید توسط آنها و تاثیر بر ناپایداری ساختار شبکه پروتئینی، دلایل اصلی عدم تاثیر گلوتن بر ویژگی‌های رئولوژی خمیرترش عنوان شده است (Arendt *et al*., 2007; Chavan and Chavan, 2011). در این پژوهش، به موازات افزایش دما و زمان تخمیر، اسیدیته قابل تیتر خمیرترش، افزایش و pH آن کاهش یافت که این شرایط در خصوص کشت‌های آغازگر لاکتوباسیل جور تخمیر مشهودتر بود. البته به طور کلی در تخمیر کنترل شده خمیرترش وقوع چنین حالتی مورد انتظار می‌باشد (Clarke and Arendt, 2005; Arendt *et al*., 2007). همچنین در خصوص روند تغییر اسیدیته قابل تیتر خمیرترش حاصل از آرد سنگک در مقایسه با سایر آردها می‌توان به محتوای خاکستر بیشتر این نوع آرد، اشاره کرد که بر فعالیت آغازگرهای میکروبی و

توانایی متابولیسمی آنها تاثیر می‌گذارد (Katina, 2005). علاوه بر این، با توجه به روند تغییرات اسیدیته قابل تیتر خمیرترش با میزان گسترش پذیری آن تحت تاثیر برخی از تیمارهای مورد مطالعه در این پژوهش، باید متذکر شد که اگر چه اسیدیته قابل تیتر، مهم‌ترین عامل موثر در ویژگی‌های خمیرترش به شمار می‌آید اما مسلما تنها عامل مطرح در این خصوص نیست و توانایی پروتئولیتیکی کشت‌های آغازگر میکروبی نیز می‌تواند در بروز ویژگی‌های رئولوژی این فراورده کاملا موثر باشد (Di Cagno *et al*., 2002; Chavan and Chavan, 2011). بیشترین میزان حجم مخصوص نان خمیرترشی تحت تاثیر تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش نیز در نمونه فرآوری شده با خمیرترش دارای بیشترین مقدار اسیدیته قابل تیتر و همچنین بیشترین میزان گسترش‌پذیری مشاهده گردید که بر این اساس، انتظار می‌رود رابطه مستقیمی بین میزان گسترش‌پذیری خمیرترش با حجم مخصوص نان تولیدی از آن وجود داشته باشد. از آنجا که با افزایش حجم مخصوص نان‌های خمیرترشی غالبا میزان بیاتی آنها کاهش می‌یابد (Katina, 2005)، لذا استفاده از چنین خمیرترش‌هایی در صورت کنترل شرایط فرآوری می‌تواند در کاهش بیاتی و افزایش زمان ماندگاری نان نیز موثر باشد. در این مطالعه، روند تغییرات سفتی بافت و همچنین عطر و طعم نان‌های خمیرترشی بر خلاف حجم مخصوص آنها از الگوی معینی پیروی نکرد. بر اساس گزارش محققین مختلف نظیر کاتینا (Katina, 2005) و همچنین کلارک و آرندت (Clarke and Arendt, 2005) نیز اسیدیته‌ای که در آن، مطلوب‌ترین رفتار رئولوژی خمیر به دست می‌آید دقیقا با مقادیر لازم جهت دستیابی به بهترین خصوصیات حسّی در نان تولیدی، مطابق نیست.

به دلیل طبیعت ماده خام و نوع آرد (گندم، چاودار و یا حتی انواع آنها) و بسته به شرایط تخمیر (زمان یا دما) هر خمیرترشی به عنوان یک اکوسیستم ویژه در نظر گرفته می‌شود که ترکیب میکروبی آن به لحاظ تعداد سلول‌ها، تنوّع و ترکیب نژادی برای یک دوره زمانی نسبتا طولانی، کاملا پایدار باقی می‌ماند. تفاوت عوامل موثر بر اکوسیستم‌های پیچیده میکروبی نظیر ماده اولیه، شرایط فرایند و فلور میکروبی غالب، خود دلیل بروز برخی از تفاوت‌های مشاهده شده در نتایج این مطالعه در مقایسه با پژوهش‌های دیگر به شمار می‌آید. اصولا فرایند تخمیر خمیرترش به عوامل متعددی نظیر ترکیب فلور میکروبی آن، فعالیت آنزیمی و همچنین قابلیت تخمیری آرد بستگی دارد. در کنار عوامل مذکور، حتی شرایط جغرافیایی و اقلیمی نیز بر پیچیدگی این سیستم، افزوده و منجر به ایجاد طیف گسترده‌ای از انواع خمیرترش‌های محلّی مخصوص به هر کشور با خصوصیات و همچنین قابلیت‌های منحصر به فرد شده است که استفاده صنعتی از هر یک از آنها نیازمند بهینه‌سازی و کنترل شرایط تخمیر نظیر زمان، دما و درجه استخراج آرد به منظور تولید نان‌های مطلوب‌تر و سپس تعیین خصوصیات مورد نظر همچون میزان گسترش‌پذیری خمیر و حجم مخصوص نان جهت طراحی خطوط تولید مربوط به آنها می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، شرایط تخمیر (کشت آغازگر مورد استفاده، دما و زمان تخمیر) و نوع آرد مصرفی بر میزان گسترش‌پذیری خمیرترش تولیدی کاملا موثر بوده و باید در بهینه‌سازی فرایند تولید و نیز طراحی تجهیزات فرآوری به دقت لحاظ گردند. مدل‌های رگرسیونی حاصل از این پژوهش می‌توانند در مباحث طراحی و انتخاب تجهیزات فرایند صنعتی تولید نان با استفاده از آغازگرهای اختصاصی خمیرترش، مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر این، با توجه به اینکه بیشترین میزان حجم مخصوص در نان فرآوری شده با خمیرترش دارای *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در مقادیر بیشینه دما و زمان تخمیر هنگام استفاده از آرد بربری به دست آمده و خمیرترش مورد استفاده در فرآوری این نمونه دارای بیشترین مقدار اسیدیته قابل تیتر و همچنین بیشترین میزان گسترش‌پذیری بوده است انتظار می‌رود رابطه مستقیمی بین میزان گسترش‌پذیری خمیرترش با حجم مخصوص نان تولیدی از آن وجود داشته باشد. از آنجا که با افزایش حجم مخصوص نان‌های خمیرترشی غالبا میزان بیاتی آنها کاهش می‌یابد، لذا استفاده از چنین خمیرترش‌هایی در صورت کنترل شرایط فرآوری می‌تواند در کاهش بیاتی و افزایش زمان ماندگاری نان نیز موثر باشد. از طرفی اگرچه کاهش ویسکوزیته و قوام خمیر دارای اثرات غیر قابل انکاری در سهولت انتقال، جریان‌پذیری و پهن شدن خمیر هستند اما افزایش بیش از حد اسیدیته می‌تواند سفتی زودرس بافت نان و بیاتی آن را به دنبال داشته باشد. علاوه بر این، مقادیر اسیدیته‌ای که در آن، مطلوب‌ترین رفتار رئولوژی خمیر به دست می‌آید دقیقا با مقادیر لازم جهت دستیابی به بهترین خصوصیات حسّی در نان تولیدی، مطابق نیست.

## منابع

استاندارد ملی ایران. ۱۳۸۱. استانداردهای شماره ۵۸۰۸، ۵۸۰۹، ۵۸۱۰، ۶۹۴۳ و ۱۰۳ به ترتیب: غلات و فراورده‌های آن، نان تافتون، نان بربری، نان لواش، نان سنگک، ویژگی‌ها و روش‌های آزمون آرد گندم. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

سرفراز، ا.، عزیزی، م. ح.، حمیدی اصفهانی، ز.، کریمی ترشیزی، م. ا.، ظفری، ع.، ۱۳۸۷. اثرات متقابل باکتری‌های لاکتیک اسید و مخمر نانوایی در تخمیر خمیرترش مایع. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. جلد ۳. شماره ۲. صفحات ۸۰-۷۳.

خراسانچی، ن.، پیغمبردوست، ه.، حجازی، م.، رأفت، ع.، ۱۳۹۲. استفاده از لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس روتری به عنوان آغازگر در تهیه خمیرترش. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی. جلد ۲۳. شماره ۱. صفحات ۹۵-۸۰.

خراسانچی، ن.، پیغمبردوست، ه.، گلشن‌تفتی، ا.، حجازی، م.، رأفت، ع.، ۱۳۹۰. ارزیابی قابلیت خمیرترش مایع حاوی آغازگرهای لاکتوباسیلوس پلانتاروم و لاکتوباسیلوس روتری در جلوگیری از فساد قارچی نان. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی. جلد ۲۱. شماره ۳. صفحات ۴۰۰-۳۹۱.

صادقی، ع.، شهیدی، ف.، مرتضوی، ع.، نصیری محلاتی، م.، ۱۳۸۷. ارائه مدلی جهت بهبود حجم پس از پخت و تاخیر بیات شدن نان‌گندم نیمه‌حجیم با استفاده از خمیرترش. مجله زیست شناسی ایران. جلد ۲۱. شماره ۱. صفحات ۱۱۳-۱۰۵.

صادقی، ع.، شهیدی، ف.، مرتضوی، ع.، نصیری محلاتی، م.، صادقی، ب.، ۱۳۸۷. بررسی تاثیر استفاده از خمیرترش بر زمان ماندگاری میکروبی و خواص حسی نان بربری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۹. شماره ۳. صفحات ۱۷۰-۱۵۳.

صادقی، ع.، شهیدی، ف.، مرتضوی، ع.، نصیری محلاتی، م.، کوچکی ا.، رضایی مکرم، ر.، ۱۳۸۸. بررسی تاثیر استفاده از خمیرترش بر کاهش بیاتی نان بربری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۳. شماره ۴۷ (الف). صفحات ۴۷-۳۷.

مرتضوی، ع.، ۱۳۸۶. ارزیابی و بهینه‌سازی تولید نان نیمه‌حجیم جهت معرفی به عنوان نان غالب در کشور. طرح ملی ارائه شده به شورای پژوهش‌های علمی کشور، دانشگاه فردوسی مشهد.

AACC. 2000. Approved methods of the AACC. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, Moisture 44−19, Ash 08−01, Proteins 46−10 and Gluten 38−12 Methods.

Angioloni, A., Romani, S., Pinnavaia, G. G. and Rosa, M. D. 2006. Characteristics of bread making doughs: influence of sourdough fermentation on the fundamental rheological properties. European Food Research and Technology. 222, 54–57.

Arendt, E. K., Ryan, L. A. M. and Dal Bello, F. 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. Food Microbiology. 24, 165–174.

Chavan, R. S. and Chavan, S. R. 2011. Sourdough technology– a traditional way for wholesome foods: a review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 10, 170–183.

Clarke, C. I. and Arendt, E. K. 2005. A review of the application of sourdough technology to wheat breads. Advances in Food and Nutrition Research. 49, 137–156.

Clarke, C. I., Schober, T. J., Dockery, P., O'Sullivan, K. and Arendt, E. K. 2004. Wheat sourdough fermentation: effects of time and acidification on fundamental rheological properties. Cereal Chemistry. 81, 409–417.

Di Cagno, R., De Angelis, M., Lavermicocca, P., De Vincenzi, M., Giovannini, C., Faccia, M. and Gobbetti, M. 2002. Proteolysis by sourdough lactic acid bacteria: effects on wheat flour protein fractions and gliadin peptides involved in human cereal intolerance. Applied and Environmental Microbiology. 68, 623–633.

Dobraszczyk, B. J. and Morgenstern, M. P. 2003. Rheology and the bread making process. Journal of Cereal Science. 38, 229–245.

Gocmen, D., Gurbuz, O., Kumral, A. Y. and Sahin, I. 2007. The effects of wheat sourdough on glutenin patterns, dough rheology and bread properties. European Food Research and Technology. 225, 821–830.

Katina, K. 2005. Sourdough: a tool for the improved flavour, texture and shelf-life of wheat bread. VTT Publication, Finland, pp: 13–41.

Katina, K., Heinio¨, R. L., Autio, K. and Poutanen. K. 2006. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. LWT Food Science and Technology. 39, 1189–1202.

Piau, J. M. and Debiane, K. 2005. Consistometers rheometry of power-law viscous fluids. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. 127, 213–224.

Steffe, J. F. 1996. Rheological methods in food process engineering. 2nd ed. Freeman Press, USA. pp: 67–68.

Wehrle, K. and Arendt, E. K. 1998. Rheological changes in wheat sourdough during controlled and spontaneous fermentation. Cereal Chemistry. 75, 882–886.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 11, No. 4, Oct- Nov 2015, p. 296-308

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۱، شماره ۴، مهر- آبان ۱۳۹۴، ص. ۳۰۸-۲۹۶

# Modeling of sourdough consistency and evaluation of its effect on iranian breads properties as a function of specific starter culture fermentation conditions

**S. A. Mortazavi[1], F. Shahidi[*2], A. Sadeghi[3], B. Sadeghi[4]**

Received: 2012.09.07
Accepted: 2013.09.03

**Introduction:** Sourdough has been used since ancient times and sourdough fermentation has been studied for its effect on the sensory, structural, nutritional and shelf life properties of bread. During fermentation, biochemical changes occur in the carbohydrate and protein components of the flour due to the action of microbial and indigenous enzymes. The rate and extent of these changes greatly influence the properties of the sourdough and ultimately the quality of the final baked product. From a rheological point of view, it is well established that as fermentation progresses, there is a change in nature of the elements contributing to dough structure such as the decrease in the viscosity. During sourdough fermentation, lactic acid bacteria produce a number of metabolites which have been shown to have a positive effect on the texture of bread. In addition to the direct impact of decreasing pH values on dough characteristics, secondary effects of acidification and fermentation time may include changes in the activity of cereal or bacterial enzymes associated with changes in the pH of the environment during the fermentation period. Further to the impact of sourdough on the structure and rheology of the constituent gluten proteins making up the framework of the dough, its effect on gas formation must also be considered in view of the fact that gas formation by microorganisms is necessary in order to obtain leavened bread. The application of sourdough to wheat breads has also a positive impact on bread volume. The rate of application is important, however, because optimum levels of sourdough must be applied to achieve optimal bread quality. The nature of the acidification process may also be a key. The present study was undertaken to evaluate the effects of different fermentation conditions on sourdough consistency and properties of Iranian main breads.

**Materials and method:** In this research the fermentation temperatures (28 and 32 ºC) and fermentation times (16 and 24 hours) effects of two specific starter cultures including *Lactobacillus plantarum* (ATCC 43332) and a mixture of this starter with *Lactobacillus brevis* (ATCC 14917) on consistency of sourdoughs produced from flours of Iranian main breads (Barbari, Taftoon, Sangak and lavash), were investigated. An inoculum of mentioned strains was added to the mixture of water and wheat flour. The mixture was allowed to ferment at different fermentation temperatures and times without agitation for sourdough preparation. Then an amount of 0.5% active dry yeast extract, containing *Saccharomyces cerevisiae* and 25% sourdough samples (w/w) were added to each 100 g flour and mixed. The dough was left for bulk fermentation and at the end of the fermentation time; each piece was rounded before moulded by hand. The moulded dough pieces were proofed for 1.5 h at 30 ± 1 ºC and 85% relative humidity before baking at 220 ± 5 ºC for 15–16 min in a heated oven and then cooled in aseptic conditions for 1 h. The effect of fermentation conditions on pH and total titerable acidity of sourdough and also specific volume (rapeseed displacement method), firmness, aroma and flavour (based on organoleptic analysis) of sourdough breads prepared from the mentioned flours, were evaluated. Sourdoughs consistency were also estimated by Adams consistometer and compared with control samples. In these experiments a completely randomized design with four replications were conducted.

**Results and Discussion**: Based on the results, some models were developed. These results showed that, fermentation conditions had significant effect ($p \leq 0.01$) on sourdough consistency prepared from flours of main Iranian breads in comparison with control samples. Moreover the produced samples with *L. plantarum* compared to other starter culture and the samples processed with Barbari flour in comparison with other flours had higher extensibility values. In most treatments, total titerable acidity in Barbari and Sangak sourdoughs and also Taftoon and Lavash sourdoughs were the same. The consistency of Taftoon and Lavash sourdoughs were also

1, 2- Professors, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad.
3- Assistant professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
4- Assistant professor, Faculty of Veterinary Medicine, Shahid Bahonar University of Kerman.
(*-Corresponding Author Email: fshahidi@um.ac.ir)

similar, but consistency of Barbari and Sangak sourdoughs were completely different. The maximum amount of specific volume was observed in sourdough bread, produced with *L. plantarum in* highest amounts of fermentation temperature and time and using of Barbari flour, but the changes in firmness, aroma and flavour of sourdough breads did not follow a specific pattern. There exist a myriad of microbial, technological and processing dimensions that must be considered in order to produce cereal products of optimum quality. Significant advances have been made in understanding the contributions made by the presence of acids, the fermentation period and the role played by cereal and bacterial enzymes in terms of sourdough and bread characteristics.

**Conclusion:** process requirements for optimum quality were strain-specific and different for textural improvement which should be taken in to account in designing future sourdough baking processes.

**Keywords:** Specific starter culture, Iranian flours, Dough consistency, Bread specific volume.