مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

مروری بر اهمیت و بکارگیری اکوسیستم خمیرترش در ایمنی زیستی-تغذیه‌ای نان‌های بدون گلوتن

نوع مقاله:مروری

فریبا قربانی سرایدشتی [۱]، عباس عابدفر [۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

a.abedfar@guilan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۱

صفحه ۵۴-۳۵

چکیده

بیماری سلیاک در انسان ناشی از عدم تحمل بخش پروتئینی برخی از غلات به نام گلوتن است. پژوهش‌های زیادی در زمینه تولید نان‌های بدون گلوتن (GFB: gluten-free bread) انجام شده است. در میان راهکارهای موجود برای بهبود خصوصیات کیفی و حسی محصولات بدون گلوتن، بیوتکنولوژی خمیرترش می‌تواند نقش پررنگی را ایفا کند. خمیرترش مخلوطی از آرد و آب است که توسط اکوسیستمی از باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB) و مخمرها تخمیر می‌شود و شرایط بهبود ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای محصولات نانوایی را فراهم می‌کند. متابولیت‌هایی که توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک تولید می‌شوند، می‌توانند نقش گلوتن را در این محصولات ایفا کنند. همچنین یک فرآیند مقرون به صرفه و دارای پتانسیل بالا در زمینه تولید محصولات GF است. اثرات خمیرترش در این محصولات به عواملی مانند ویژگی‌های آرد بدون گلوتن، نوع کشت آغازگر در تخمیر، مواد مغذی بستر تخمیر، دمای تخمیر و زمان تخمیر بستگی دارد. در این مطالعه به بررسی اثرات استفاده از فناوری خمیرترش در نان‌های بدون گلوتن و عوامل تأثیرگذار بر این فناوری خواهیم پرداخت.

کلمات کلیدی: بیماری سلیاک، باکتری اسید لاکتیک، فناوری خمیرترش، گلوتن، نان بدون گلوتن

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

مقدمه

یکی از اجزاء مهم آرد گندم، گلوتن، است که خواص و عملکردهای منحصر به فردی را در محصولات پخته شده نشان می‌دهد. گلوتن (gluten) نوعی پروتئین ذخیره‌ای و ترکیبی از گلیادین‌ها (پرولامین‌ها) و گلوتلین‌های نامحلول در آب هستند که به‌طور معمول ۷۰ تا ۸۰٪ پروتئین غلاتی مانند گندم، چاودار، جو، جودوسر، هیبریدها و مشتقات آن‌ها را تشکیل می‌دهند. این بخش پروتئینی غلات در فناوری پخت اهمیت زیادی دارد (Šmídová and Rysová, 2022). در خمیر غلات حاوی گلوتن، بعد از ورز دادن و افزودن آب، گلیادین‌ها و گلوتنین‌ها متورم می‌شوند، این عمل باعث ایجاد شبکه ویسکوالاستیک شده و با به دام انداختن مولکول‌های گاز، نانی با حجم بالاتر ارائه می‌دهد. پس از پخت، گلوتن در کنترل رطوبت نیز نقش دارد (Ren et al. 2020; Šmídová and Rysová, 2022). با اینحال، افراد زیادی در سراسر جهان هستند که مصرف غذاهای حاوی گلوتن، اثرات زیانباری بر سلامتی‌آن‌ها به‌جا می‌گذارد. در این افراد مصرف گلوتن منجر به طیف وسیعی از اختلالات، مانند بیماری سلیاک (celiac)، التهاب پوستی مربوط به بیماری سلیاک (dermatitis herpetiformis)، اختلال تعادل (gluten ataxia) و حساسیت به گلوتن غیر سلیاکی (Non-coeliacgluten sensitivity) می‌شود (Al-Toma et al. 2019).

بیماری سلیاک براساس دانش قدیم یک اختلال گوارشی در نظر گرفته می‌شد، اما امروزه به‌عنوان یک بیماری سیستمیک و خودایمنی طبقه‌بندی شده که چندین اندام و بافت را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Ramos et al. 2021). مصرف گلوتن در افراد سلیاکی باعث می‌شود سیستم ایمنی بدن در تشخیص آن اشتباه کرده و در هنگام ورود غذا به روده کوچک، به آن حمله کند. این واکنش‌های سیستم ایمنی ممکن است موجب از بین رفتن پرزها و برآمدگی‌های روده کوچک شده و در مدت طولانی جذب مواد معدنی را دچار مشکل کند و در نهایت باعث سوء تغذیه شود (Ramos et al. 2021; Scherf et al. 2020). این واکنش‌ها دارای علائم خاصی مانند اسهال مزمن، اتساع شکم و کاهش رشد فیزیکی هستند (Ramos et al. 2021). تنها راه درمان این افراد که با مصرف گلوتن دچار اختلال می‌شوند، رژیم غذایی بدون گلوتن است (Scherf et al. 2020). از آنجایی‌که افرادی که دارای بیماری سلیاک هستند امکان مبتلا شدن به سوء تغذیه را دارند، می‌توان از منابع پروتئینی مختلف برای تقویت و بهبود کیفیت تغذیه‌ای محصولات فاقد گلوتن استفاده کرد (Olojede et al. 2020a). به‌همین سبب علاقه پژوهشگران و تولید کنندگان به محصولات بدون گلوتن افزایش یافته‌است و به دنبال تولید محصولات با کیفیت مرغوب هستند. صنایع غذایی نیز در پاسخ به افزایش تقاضا به تولید این محصولات در حال تلاش است (Scherf et al.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

2020). رژیم غذایی بدون گلوتن مستلزم استفاده از غلات بدون گلوتن (ذرت، برنج، سورگوم، ارزن، تف (teff)) و شبه غلات (گندم سیاه، کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd)، تاج خروس) است. در این میان تعدادی از مواد غذایی مانند سیب‌زمینی، آجیل، دانه‌های روغنی، حبوبات، میوه‌ها و سبزیجات به‌طور طبیعی عاری از گلوتن هستند (Šmídová and Rysová, 2022). پخت محصولات نانوایی به‌وسیله آردهای بدون گلوتن یک کار چالش‌برانگیز برای نانوایان و مهندسین این صنعت است (Mir et al. 2021). نان مهم‌ترین غذا برای اکثر مردم به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و یکی از ارزان‌ترین منابع انرژی و پروتئین برای انسان است. همچنین نقش برجسته‌ای در تأمین فیبر غذایی، برخی از مواد معدنی مانند کلسیم، آهن، ویتامین‌های گروه B و هم‌چنین ویتامین E دارد (Kumar et al. 2019). اکثر نان‌ها و خمیرهای رایج با استفاده از آرد گندم، آب، نمک و مخمر (مخمر آبجو یا آغازگر خمیرترش) تولید می‌شوند (Cappelli et al. 2019).

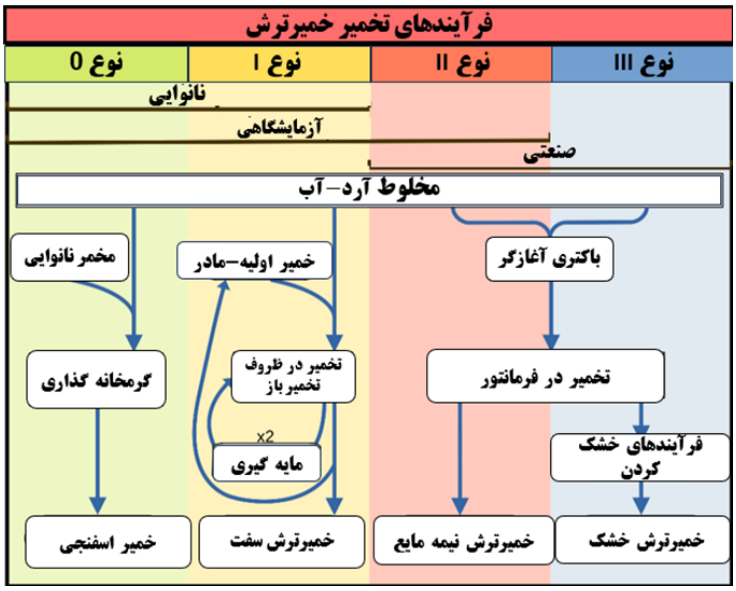
نان‌های بدون گلوتن (GFB: gluten-free bread) فاقد بسیاری از ویژگی‌های مطلوب نان‌های دارای گلوتن مانند حجم و احساس دهانی هستند. زیرا عدم وجود گلوتن هم بر رئولوژی (rheology) خمیر و هم بر کیفیت محصول نهایی تأثیر قابل‌توجهی می‌گذارد. خمیرهای بدون گلوتن در مقایسه با خمیرگندم (حاوی گلوتن) دارای انسجام و کشسانی کمتری هستند (Matos and Rosell, 2015). همچنین بر ظرفیت جذب آب، ویسکوزیته، مقاومت در برابر کشش، تحمل اختلاط و احتباس گاز در خمیر تأثیر منفی می‌گذارد (Mir et al. 2021). علاوه‌بر این، نان‌های بدون گلوتن به دلیل کمبود فیبر و پروتئین رژیمی، از نظر تغذیه‌ای نسبت به نان‌های حاوی گلوتن پایین‌تر هستند (Allen and Orfila, 2018). دو روش برای حل چالش‌های موجود در محصولات بدون گلوتن و تولید این محصولات با کیفیت بالا وجود دارد؛ ۱) از دیدگاه فناوری: استفاده از هوادهی با فشار بالا، پیش تصفیه آرد با امواج فراصوت، تکنولوژی اکستروژن و ماکروویو ۲) از منظر علمی: با فرمول‌های اصلاح‌شده، مانند استفاده از افزودنی‌ها و فرآیندهای آنزیمی یا بیوتکنولوژی مبتنی بر خمیرترش (Mir et al. 2021; Ramos et al. 2021). هئوبن و همکاران از مواد افزودنی مختلفی مانند انواع آردها، نشاسته‌ها، هیدروکلوئید و صمغ‌ها، پروتئین‌ها، آنزیم‌ها، چربی‌ها و امولسیفایرها و انواع مختلف خمیرترش، جهت بهبود ویژگی‌های کیفی و حسی محصولات نانوایی بدون گلوتن استفاده نمودند (Houben et al. 2012)

زیست فناوری خمیرترش در محصولات بدون گلوتن

خمیرترش یک سیستم زیستی بسیار پیچیده است که اساس تشکیل آن همزیستی بین فلور میکروبی آرد (یا اجزاء آن) و آب است که به‌وسیله مخمرها و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB)، تخمیر شده باشد. این میکروارگانیسم‌ها، ویژگی‌های نان از جمله حجم، خصوصیات پوسته، دانه‌بندی و رنگ مغز نان، طعم، آروما و بافت آن را بهبود بخشیده و با جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌های مولّد فساد باعث افزایش زمان ماندگاری نان می‌شوند (Chavan and Jana, 2008; Gobbetti et al. 2014). استفاده از خمیرترش در نان‌های بدون گلوتن اثر مثبتی بر روی کیفیت، خواص تغذیه‌ای، عطر و ماندگاری نان‌های تولید شده دارد (Moroni et al. 2009). در خمیرترش علاوه‌بر آرد و آب، می‌توان برخی مواد افزودنی و مغذی مانند شکر یا آنزیم‌ها را برای تقویت تخمیر میکروفلور اضافه کرد (Pétel et al. 2017). در فرآیند تخمیر، عملکرد اصلی LAB، اسیدی کردن خمیر است که تغییرات شیمیایی، متابولیکی و آنزیمی ایجاد می‌کند، در حالی‌که عملکرد اصلی مخمر تولید دی اکسیدکربن (CO_2) است (Ramos et al. 2021). براساس تکنولوژی و تلقیح، خمیرترش را می‌توان به سه دسته طبقه‌بندی نمود. نوع اول تخمیر خودبه‌خودی خمیرترش بدون افزودن کشت‌های آغازگر که در فرآیندهای سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و میکروبیوتای خمیرترش توسط مایه‌گیری (backslopping) روزانه تثبیت می‌شود. خمیرترش‌های نوع دوم با افزودن یک کشت آغازگر به مخلوطی از آرد و آب به‌دست می‌آیند (Nami et al. 2024). نوع سوم هم اغلب فرآورده‌های خشک شده خمیرترش‌های نوع دوم هستند (Cappelle et al. 2013; Fraberger et al. 2020). خشک کردن خمیرترش نوع دوم توسط روش‌های مختلف مانند خشک کردن با خشک کن پاششی، خشک‌کن انجمادی و خشک کردن در آون انجام می‌شود (Marco et al. 2022).



شکل ۱- طبقه‌بندی انواع خمیرترش (De Vuyst et al. 2017)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

نان‌های تولید شده با خمیرترش مزایای متعددی را برای کیفیت محصولات به‌دست آمده فراهم می‌کند و باعث افزایش مدت ماندگاری محصولات نانوایی می‌شود. این افزایش ماندگاری به‌طور عمده به‌دلیل کاهش pH است که باعث مهار رشد میکروبی می‌شود و در کنترل بیاتی آن مؤثر خواهد بود. استفاده از خمیرترش هم‌چنین به‌دلیل فرآیندهای هیدرولیز و ترکیبات تولید شده در واکنش میلارد (maillard) در طی فرآیند پخت، امکان به‌دست آوردن محصولاتی با عطر و شیرینی بیشتر را فراهم می‌کند (Fernandez-Pelaez et al. 2020). بیشتر عطر و بوی غنی و منحصربه فرد پخت نان توسط واکنش میلارد ایجاد می‌شود واکنش میلارد یک واکنش قهوه‌ای شدن ناشی از گرما و حرارت است. این واکنش بین گروه‌های کربونیل قندهای احیاکننده و گروه‌های آمینه، اسیدهای آمینه آزاد یا متصل به پروتئین رخ می‌دهد (Helou et al. 2016). همچنین مشاهده شده است که محصولات تخمیر شده با خمیرترش توانستند در تنظیم میکروبیوتای روده هم نفش مؤثری داشته باشند. علاوه‌بر این، سایر مطالعات پژوهشی به قابلیت هضم بیشتر محصولات غلات تخمیر شده با خمیرترش، در مقایسه با محصولات تخمیر شده با مخمر اشاره دارد (Masoomshahi et al.2020).

یکی از مسائل پراهمیت و قابل‌توجه در تولید خمیرترش‌های بدون گلوتن، انتخاب کشت‌های آغازگر مناسب است. این آغازگرها باید طوری انتخاب شوند که با مواد اولیه بدون گلوتن مورد استفاده، سازگاری لازم را داشته باشند. عوامل درونی (نوع آرد، مواد مغذی در دسترس مانند منابع کربوهیدراتی و نیتروژنی، وجود فاکتورهای رشد مانند ویتامین‌ها و مواد معدنی) و عوامل بیرونی (دما، تعداد مایه‌گیری، بازده خمیر و زمان تخمیر) میکروبیوتای خمیرترش را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (De Vuyst et al. 2014; Parakhina et al. 2021). بخش عمده‌ای از مزایایی که به خمیرترش نسبت داده می‌شود به‌دلیل تنوع باکتری‌های اسید لاکتیک آن است (Mamhoud et al. 2016). باکتری‌های لاکتیکی به‌دلیل متابولیت‌های مختلف ارائه دهنده به خمیر مانند آنزیم ها، اسیدهای آلی، اگزوپلی‌ساکاریدها و حتی ترکیبات ضد میکروبی بر بافت، طعم، ویژگی‌های تغذیه‌ای و فساد شیمیایی و میکروبیولوژیکی آن تأثیر مثبت دارند (Plessas. 2021). باکتری‌های لاکتیکی به‌عنوان ارگانیسم‌های ایمن GRAS (generally recognized as safe) توسط سازمان غذا و دارو (FDA) در نظر گرفته می‌شوند (Lafuente et al. 2023).

در طی فرآیند تخمیر خمیرترش، بیوپلیمرهای سنتزشده توسط LAB می‌توانند عملکرد مولکول‌های گلوتن را تقلید کنند. به‌همین سبب زیست فناوری خمیرترش را می‌توان به‌عنوان یک فناوری مقرون به صرفه و با پتانسیل بالا در زمینه محصولات بدون گلوتن معرفی نمود. قراردادن آرد GF در معرض تخمیر با باکتری‌های اسیدلاکتیک، اثر مثبتی بر روی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

بافت نان و بیاتی آن طی ماندگاری دارد (Diowksz and Sadowska, 2021b).

اگزوپلی‌ساکاریدها یا متابولیت‌های ثانویه میکروبی به خواص ویسکوالاستیک خمیر کمک نموده و منجربه افزایش حجم نان و کاهش سختی بافت نان می‌شود (İspirli et al. 2020). فعالیت آنزیم‌های پروتئیناز و پپتیداز به قابلیت پروتئولیتیکی باکتری‌های اسید لاکتیک کمک می‌کند. فعال شدن این سیستم آنزیمی در طی تخمیر باعث افزایش غلظت آمینواسیدهای آزاد که پیش‌ساز برخی از ترکیبات فرار هستند، می‌شود (Pétel et al. 2017). در سال ۲۰۱۵، پژوهشگران فعالیت ضد قارچی باکتری‌های اسید لاکتیک را شناسایی کردند. آکسل و همکاران سویه ضد قارچی *Lactobacillus amylovorus* DSM19280، را در خمیرترش کینوا برای تولید نان بدون گلوتن به‌کار بردند. تخمیر آرد بدون گلوتن کینوا با این سویه به‌عنوان یک ماده نگهدارنده زیستی بالقوه برای تولید نان‌های بدون گلوتن با بهبود ارزش غذایی، کیفیت بهتر و ماندگاری بالاتر عمل کرد (Axel et al. 2015). بیش از ۲۰ گونه LAB به‌عنوان کشت‌های آغازگر برای تولید خمیرترش نوع دوم، به صورت تجاری استفاده می‌شود. از جمله گونه‌های پرکاربرد می‌توان به *Lactiplantibacillus plantarum*، *Streptococcus thermophilus*، *Lactococcus lactis*، *Lactobacillus delbrueckii*، *Pediococcus pentosaceus*، *Latilactobacillus sakei* و *Leuconostoc mesenteroides* اشاره کرد (Nami et al. 2024). یکی از رایج‌ترین سویه های LAB که در تولید نان GF استفاده می‌شود، *Lactobacillus sanfranciscensis* است. پژوهشگران در زمینه تولید محصولات بدون گلوتن از این LAB همراه با *Candida milleri*، برای بهبود عطر و افزایش ماندگاری طیف وسیعی از محصولات GF استفاده کرده‌اند (Scarnato et al. 2017; Vernocchi et al. 2008).

نان‌های بدون گلوتن بر پایه آرد ذرت همراه با خمیرترش تخمیر شده توسط سویه‌های مختلف LAB مانند *L. sanfranciscensis*، *L. plantarum*، *Levilactobacillus brevis* و *Lactobacillus paralimentarius* تولید شده است. استفاده از خمیرترش‌های تولیدی توسط تک سویه‌های *L. brevis* و *L. plantarum* و مخلوط *L. brevis + L. paralimentarius* یا *L. brevis+ L. paralimentarius+ L. sanfranciscensis* به‌عنوان کشت‌های آغازگر با عملکرد مناسب جهت تولید خمیرترش در نان‌های بدون گلوتن گزارش شده است (Gharekhani et al. 2021).

ماهیت و ویژگی‌های آرد مورد استفاده در نان‌های بدون گلوتن یکی از عواملی است که بر سیستم خمیرترش اثرگذار است. شونلشنر و همکاران به بررسی آرد حاصل از دانه‌های سورگوم و کینوا به عنوان ترکیب بدون گلوتن در تهیه خمیرترش

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

پرداختند. دانه‌های آردشده در اندازه‌های ریز، غنی از نشاسته و بخش‌های درشت غنی از پروتئین و فیبر رژیمی بودند. هم‌چنین در بخش ریز سورگوم، فیبر غذایی محلول فراوان بود. به‌کاربردن خمیرترش برای هر دو غله باعث شد تا مدت ماندگاری GFB را افزایش دهد (Schoenlechner et al. 2023).

شاخص گلیسمی (glycemic Index) عددی است که برای اندازه‌گیری میزان افزایش سطح قند خون توسط مواد غذایی خاص به‌کار می‌رود. براساس شاخص گلیسمی، مواد غذایی به سه دسته با گلیسمی بالا (۷۰ < نان آرد جو کامل، نان گندم سفید)، متوسط (۵۵-۷۰ برخی از نان‌های خاص) و پایین (۵۵> آجیل، حبوبات، محصولات لبنی و پاستا) تقسیم‌بندی می‌شوند. شاخص گلیسمی نان‌ها با قابلیت هضم نشاسته رابطه مستقیم دارد. به این دلیل که ژلاتینه شدن نشاسته در طی فرآیند پخت باعث افزایش آسیب‌پذیری آنزیمی آن شده و نشاسته آن سریع هضم می‌شود. افزودن خمیرترش یا اسید لاکتیک ممکن است باعث رتروگراسیون نشاسته شود و در نتیجه تشکیل نشاسته مقاوم را افزایش دهد. نشاسته مقاوم کربوهیدراتی است که در روده کوچک در برابر هضم مقاومت می‌کند و در روده بزرگ تخمیر می‌شود. خمیرترش، هضم نشاسته را کند می‌کند و شاخص گلیسمی را کاهش می‌دهد. والتر و همکاران مقدار تأثیر خمیرترش آردهای گندم سیاه، کینوا، سورگوم و تف توسط سویه‌های هتروفرمنتاتیو اجباری *Weissella cibaria* MG1 و اختیاری *L. plantarum* FST1.7 بر قابلیت هضم نشاسته و پتانسیل آن در کاهش شاخص گلیسمی در نان بدون گلوتن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزودن خمیرترش بر هیدرولیز نشاسته در نان بدون گلوتن در مقایسه با نان گندم اثرگذار نیست. و کاهش شاخص‌های گلیسمی را می‌توان با افزودن خمیرترش *L. plantarum* FST1.7 به سورگوم، تف و نان گندم به‌دست آورد. استارتر غالب باکتریایی *W. cibaria* MG1 به ساختار خمیرترش اضافه شد. شاخص گلیسمی نان‌های خمیرترش بدون گلوتن به شدت با نوع جایگزین‌های گلوتن مورد استفاده مرتبط است. برای فرمولاسیون‌های محصولات بدون گلوتن حاوی خمیرترش و توسعه بیشتر نان‌هایی با GI (شاخص گلایسمی) پایین، تأثیر باکتری و نوع باکتری اسید لاکتیک هم باید در نظر گرفته شود (Wolter et al. 2014a).

جدول ۱- منابع جایگزین گلوتن در نان‌های خمیرترش

منابع جایگزین گلوتن در نان‌های خمیرترش		
۱- غلات بدون گلوتن	**۲- شبه غلات بدون گلوتن**	**۳- منابع گیاهی بدون گلوتن**
دانه ارزن مرواریدی	گندم سیاه	آرد بلوط

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

سورگوم برنج-ذرت-تف	کینوا	آرد شاه بلوط آرد حبوبات (لوبیا چشم بلبلی- نخود) عصاره نخود تخمیر شده
۴- استفاده ترکیبی جایگزین‌های گلوتن در نان خمیرترش آردهای دانه چیا + بذر کتان آردهای دانه چیا + کینوا + شاهدانه آردهای گندم سیاه + جو + کینوا + تف		**۵- غنی سازی نان‌های خمیرترش بدون گلوتن** پروتئین حشرات (آرد کریکت) جلبک (اسپیرولینا)
به‌کارگیری خمیرترش نوع سوم (خشک شده) در نان بدون گلوتن		
کاربرد ترکیبی فرآیندهای آنزیمی و خمیرترش در محصولات بدون گلوتن		

غلات بدون گلوتن

دانه ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*) از دوران ماقبل تاریخ به‌عنوان غذای انسان استفاده می‌شد. این غله حاوی پروتئین و مواد معدنی مفید مانند روی و فسفر، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و اجزایی با فعالیت زیستی بالا مانند ترکیبات فنولیک و اسید آسکوربیک است (Sade. 2009). ارزن مرواریدی فاقد گلوتن است و می‌تواند یک جایگزین مناسب برای گندم و غلات گلوتن‌دار باشد (Akeem et al. 2023). نامی و همکاران تاثیر خمیرترش تخمیر شده توسط چهار گونه باکتری اسید لاکتیک (*L. brevis*، *L. paralimentarius*، *L. sanfranciscensis* و *L. plantarum*) را به‌صورت جداگانه و ترکیبی بر کیفیت و ماندگاری نان‌های بدون گلوتن تهیه شده با آرد ارزن مرواریدی مورد بررسی قرار دادند و براساس مشاهدات حاصل، افزودن خمیرترش باعث افزایش خاصیت ارتجاعی، کاهش سفتی خمیر، حفظ بهتر رطوبت و افزایش ماندگاری نان‌های ارزن مرواریدی شد. آن‌ها برای تولید نان بدون گلوتن با کیفیت بالا از ارزن مرواریدی، استفاده از خمیرترش بر پایه *L. brevis*، *L. paralimentarius* یا *L. brevis* *L. paralimentarius* را توصیه کردند (Nami et al. 2019). سورگوم، یک ماده غذایی بدون گلوتن است که به‌طور معمول برای بیماران سلیاک توصیه می‌شود. این غله می‌تواند با آغازگرهای بومی در فرآیند تخمیر از نظر عملکردی بهبود یابد. سورگوم در کشورهای در حال توسعه جایگزین ارزان و در دسترس گندم و سرشار از لیپید، پروتئین، نشاسته، پلیکوسانول و ترکیبات پلی فنلی است (Olojede et al. 2020b). عملکرد سورگوم قابل مقایسه یا حتی بالاتر از گندم است که امکان تجاری‌سازی و تولید آن را با هزینه‌های مشابه می‌دهد (Schoenlechner et al. 2023). با وجود فوایدی که از مصرف سورگوم می‌توان به‌دست آورد، دارای یک‌سری معایب عمده مانند کاهش قابلیت هضم، نقص‌های عملکردی و ویژگی‌های حسی ضعیف است. به‌کارگیری

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

خمیرترش می‌تواند راه‌حلی برای بهبود این معایب باشد. تولید نان سورگوم با خمیرترش تخمیر شده با کشت‌های آغازگر باعث بهبود خاصیت آنتی‌اکسیدانی و قابلیت هضم شد. نان‌های GF که با خمیرترش سورگوم توسط *P. pentosaceus* SA8 تولید شدند، دارای بالاترین امتیاز از نظر ظاهر، بافت، عطر و پذیرش کلی بودند (Olojede et al. 2020b).

یکی از پرمصرف‌ترین غلات بدون گلوتن، برنج (*Oryza sativa*) است. برنج سرشار از کربوهیدرات (۷۵-۸۰٪) و مواد معدنی (پتاسیم، منیزیم، فسفر، کلسیم، منگنز و روی) است، اما محتوای پروتئین آن تنها ۶-۷٪ است. با این‌حال به‌دلیل فرآیند آسیاب دانه‌های غلات، از نظر مواد مغذی و کمیاب دارای خلأ است. آرد ذرت (*Zea mays*) بدون گلوتن در بیشتر موارد برای تولید GFB با انواع دیگر آرد ترکیب می‌شود. این آرد سرشار از مواد مغذی مانند کولین، فولات، ویتامین B1، B5، B6، مواد معدنی پتاسیم فسفر و منیزیم است. آرد تف بدون گلوتن و دارای ویژگی‌های تغذیه‌ای مانند شاخص گلیسمی پایین، منبع آمینواسیدها، اسیدهای چرب غیر اشباع، مواد معدنی به‌ویژه آهن و فیبر رژیمی است (Dereje et al. 2019; Gebru et al. 2019). چوچکوف و همکاران از کشت‌های آغازگر منفرد *Pediococcus acidilactici*، *Pediococcus pentosaceus* و *Enterococcus durans* برای تولید خمیرترش آرد تف استفاده کردند و خمیرترش حاصل را به نان‌های بدون گلوتن متشکل از آردهای سورگوم، برنج، ذرت و تف اضافه کردند. سویه *E. durans* بهترین ویژگی‌های پخت خمیر GF و بالاترین نرمی GFB را در طول ذخیره‌سازی ارائه داد. سویه *P. pentosaceus* بیشترین تأثیر مثبت را بر روی عطر، طعم و مزه داشت. نان‌های بدون گلوتن به دست آمده از ویژگی‌های حسّی مطلوبی برخوردار بودند، که این موضوع به ویژگی سویه به‌کار رفته در تخمیر نیز بستگی داشت (Chochkov et al. 2022).

ب- شبه غلات بدون گلوتن

شبه غلات، فاقد گلوتن هستند و می‌توانند در محصولات بدون گلوتن به‌کار گرفته شوند. علاوه‌بر این دارای مقدار زیادی پروتئین، مواد مغذی ضروری، ساپونین بوده و ظرفیت کاهش کلسترول در سرم خون و فعالیت ضد چربی خون دارند (Mir et al. 2018).

گندم سیاه (*Fagopyrum esculentum*) جزء دسته شبه غلات و دارای مواد مغذی فراوان است و می‌تواند به‌عنوان یک مکمل تغذیه‌ای در محصولات بدون گلوتن به‌کار گرفته شود (Morales et al. 2021). اجزای فعال زیستی گندم سیاه، شامل پروتئین‌ها، فیبرغذایی، ویتامین‌ها و فلاونوئیدها است. پروتئین‌های موجود در گندم سیاه منبع غنی آمینواسیدهای لوسین، فنیل آلانین، لیزین، ترئونین، ایزولوسین، سیستئین و آسپاراژین هستند (Bhinder et al. 2020). در بین تمام شبه غلات، ریوتین (rutin)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

فقط در گندم سیاه وجود دارد و دارای خواص آنتی اکسیدانی، ضد التهابی و ضد سرطانی بالایی است (Zhu. 2016).

پاراکینا و همکاران از هشت سویه مختلف از باکتری‌های اسید لاکتیک و پنج سویه از مخمرهای غربال و جدا شده از خمیرترش‌های خودبه‌خودی برنج و گندم سیاه، جهت یافتن کشت‌های آغازگر جدید و توسعه خمیرترش بدون گلوتن استفاده کردند. براساس فعالیت‌های اسیدی و آنتاگونستی دو سویه از باکتری‌های لاکتیک اسید (*L. plantarum* E138 و *L. brevis* E139) برای تولید خمیرترش‌های بدون گلوتن همراه با یک سویه مخمر (*Saccharomyces cerevisiae* Y205) که دارای بالاترین فعالیت تخمیری بود انتخاب کردند (Parakhina et al. 2021).

اثر هفت سویه مختلف *لاکتوباسیلوس* با کشت آغازگر تجاری بر روی خصوصیات عملکردی نان خمیرترش بدون گلوتن مقایسه شد. در مقایسه با کشت آغازگر تجاری، سویه‌های *Lactobacillus pentosus* و *Lactobacillus hammesii* به ترتیب بر سفتی نان گندم سیاه و ارزن تأثیر مثبت گذاشت، درحالی‌که *L. paralimentarius* این خاصیت را در هر دو نان افزایش داد. تنها یکی از دو سویه *L. sanfranciscencis* قادر به بهبود تمام خواص عملکردی در هر دو نان بدون گلوتن تولیدی بود (Bender et al. 2018).

کینوا یک محصول بذری است که دارای ظرفیت سازگاری بالا در مقابل شرایط زراعی و پتانسیل رشد بالا در انواع خاک‌ها و اقلیم‌های آب و هوایی است. این ویژگی‌ها همراه با ویژگی‌های تغذیه‌ای مطلوب کینوا و عاری بودن از گلوتن باعث شده است تا از آن در تولید محصولات GF استفاده کنند. کینوا سرشار از آمینواسیدهای لیزین، ترئونین و متیونین است که در غلات به‌صورت ناچیز وجود دارند (Rizzello et al. 2016). پژوهش‌های زیادی در زمینه استفاده از کینوا در پخت محصولات بدون گلوتن وجود دارد. اما در بازار چنین محصولاتی به‌دلیل بافت و طعم مطلوب و متاسفانه قیمت بالای آن از سایر محصولات بدون گلوتن متمایز در نظر گرفته می‌شود (Bender and Schönlechner. 2021).

از کینوا در محصولاتی مانند نان، کیک و کلوچه استفاده می‌شود. اما کیفیت پخت به‌دلیل عدم وجود گلوتن نسبتاً پایین است (Stikic et al. 2012). فرآیند تخمیر و تهیه خمیرترش کینوا، توانست ویژگی‌های نامطلوب این محصولات را از جنبه عملکردی و حسی و تغذیه‌ای بهبود بخشد (Rizzello et al. 2016).

پ- منابع گیاهی بدون گلوتن

آرد تولید شده از بلوط (*Quercus ilex* و *Quercus rotundifolia*)، به‌طور طبیعی فاقدگلوتن و دارای ویژگی‌های مفید تغذیه‌ای، فیبر، ویتامین‌ها، مواد معدنی، پلی‌فنل‌ها واسیدهای چرب غیراشباع است. از

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

آن‌جایی‌که شرایط فرآیند ممکن است بر فراهمی زیستی این اجزاء اثر بگذارد، می‌توان از خمیرترش برای افزایش فراهمی زیستی و غلظت ترکیبات زیست فعال استفاده کرد. بالترو مارتینز و همکاران اثر ترکیب آرد بلوط با خمیرترش را در فرمول نان بدون گلوتن آرد برنج بررسی کردند. نان‌های حاصل از ترکیب آرد برنج و آرد بلوط بدون خمیرترش، سفت‌تر و تیره‌تر بودند، که با افزودن خمیرترش به آن، این ویژگی‌ها بهبود یافتند. ترکیب آرد بلوط همراه با خمیرترش به‌عنوان یک راهکار مثبت امکان استفاده از مقادیر بالای آرد بلوط را در نان‌های GF ایجاد می‌کند (Beltrão Martins et al. 2022). آرد شاه‌بلوط (chestnut flour) یکی دیگر از مواردی است که به دلیل فواید تغذیه‌ای و سلامتی آن برای بهبود نان‌های بدون گلوتن توجه تولیدکنندگان این عرصه را به‌خود جلب کرده‌است. اما بررسی پژهشگران نشان داد که استفاده از سطوح مختلف آرد شاه‌بلوط در نان GF منجر به ارائه پارامترهای کیفی نامطلوبی می‌شود، که بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای در مقایسه با آن ناچیز است (Demirkesen et al. 2010). بنابراین، برای بهبود ویژگی‌های کیفی و نقص نان‌های تولیدی همراه با آرد شاه‌بلوط از ترکیب آرد شاه‌بلوط همراه با خمیرترش در تولید نان GF استفاده کردند و نتایج رضایت‌بخشی را گزارش کردند (Rinaldi et al. 2017). علاوه‌بر تخمیر خمیرترش که ویژگی‌های سورگوم را برای تولید نان GF بهبود می‌بخشد، می توان از ترکیب حبوبات هم برای افزایش کیفیت این غله استفاده کرد. حبوبات منبع غنی از پروتئین و مواد مغذی ضروری است. الوجد و همکاران با افزودن حبوباتی مانند لوبیا چشم بلبلی و نخود در نان خمیرترش سورگوم که توسط باکتری *P. pentosaceus* تخمیر شده بود گزارش کردند که نان‌های تهیه شده از نظر تغذیه‌ای (محتوای پروتئین، خاکستر و فیبرخام) در مقایسه با نان‌های غنی نشده برتری داشتند. نان خمیرترش سورگوم با آرد نخود بهترین ویژگی‌های بافتی، تغذیه‌ای و حسی را ارائه کرد و به‌عنوان یک جایگزین امیدوارکننده برای افزودنی‌های شیمیایی خمیر و محصولی قابل‌توجه برای افرادی که نمی‌توانستند گلوتن مصرف کنند، معرفی شد (Olojede et al. 2020a).

عصاره نخود تخمیرشده (FCE: fermented chickpea extract)، از نخودهای درشت و آب داغ تهیه می‌شود. پژوهشگران ازاین ترکیب به‌عنوان آغازگر در خمیرترش سنتی یونانی استفاده کردند. نخود علاوه‌بر این‌که یک ماده خام طبیعی بدون گلوتن است، سرشار از فیبر غذایی، پروتئین، اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌ها، اسیدهای چرب غیراشباع و مواد معدنی است. بنابراین میگدالیا و همکاران، FCE را به عنوان یک کشت آغازگر مناسب در سیستم‌های خمیرترش برای ترکیب آردهای بدون گلوتن پیشنهاد کردند. نان بدون گلوتن، مبنی‌بر آرد برنج و ذرت، با استفاده از خمیرترش برنج تولید شده با آغازگر FCE

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

تولید شد و نتایج رضایت‌بخشی را ارائه داد (Mygdalia et al. 2022).

استفاده ترکیبی جایگزین‌های گلوتن در نان خمیرترش

بذر کتان و دانه چیا منابع خوبی از پروتئین، فیبر غذایی، آنتی‌اکسیدان، ویتامین‌ها و مواد معدنی هستند. همچنین دانه چیا منبع طبیعی اسیدهای چرب امگا ۳ (آلفا-لینولنیک اسید) است و علاوه‌بر ارزش‌های تغذیه‌ای، به افزایش احساس سیری، پیشگیری از بیماری‌های قلبی و عروقی، اختلالات التهابی و سیستم عصبی و دیابت کمک می‌کند (Muñoz et al. 2013). این دانه‌های روغنی می‌توانند جایگزین‌های خوبی برای پخت محصولات بدون گلوتن باشند. برای غلبه به ویژگی‌های پخت پایین این آردها می‌توان از فرآیند تخمیر استفاده کرد (Dentice Maidana et al. 2020). اثر سودمند تخمیر خمیرترش بر کیفیت محصول، نه تنها به صفات متابولیکی LAB، بلکه به فعالیت آنزیمی بستر آن هم بستگی دارد (Gänzle. 2014). فعالیت آنزیمی بذر کتان و دانه چیا ناچیز است به‌همین سبب انتخاب کشت آغازگر مناسب و کافی برای تخمیر بهینه آن موردنیاز است. پژوهشگران از خمیرترش دانه چیا و بذرکتان توسط باکتری‌های *W. cibaria*، *Lactobacillus rhamnosus* و *L. lactis* برای تولید نان‌های آزمایشگاهی فرموله‌شده با آرد سورگوم بدون گلوتن استفاده کردند. به‌طور کلی نان‌های GF تولیدی دارای حجم ویژه بالاتر و ظاهر بهتری بودند (Dentice Maidana et al. 2020). شاهدانه سرشار از پروتئین، فیبر غذایی، ویتامین‌ها و مواد معدنی (P، K، Mg، Ca، Fe، Na، Mn، Zn و Cu) و ترکیبات زیستی فعال غیر مغذی است (Pihlanto et al. 2017). نیونلی و همکاران گزارش کردند که تخمیر آرد شاهدانه با باکتری‌های اسید لاکتیک می‌تواند عملکرد تغذیه‌ای آن را با افزایش قابلیت هضم پروتئین در شرایط آزمایشگاهی تا ۹۰٪ بهبود بخشد. خمیرترش شاهدانه همچنین به بهبود ویژگی‌های بافتی نان گندم کمک کرد (Nionelli et al. 2018).

پژوهشگران خمیرترش آرد دانه چیا، کینوا و شاهدانه تخمیر شده توسط باکتری *L. sanfranciscensis* را برای تولید نان ذرت/برنج بدون گلوتن بررسی کردند. زمان تخمیر و نوع آرد تأثیر معنی‌داری بر روی خمیرترش‌های تولیدی داشت. نان‌های تولید شده با این دسته از آردها بدون اعمال فرآیند تخمیر باعث سفتی بافت و افزایش سرعت بیاتی نان شد، درحالی‌که استفاده از خمیرترش میزان بیاتی را کاهش داد (Jagelaviciute and Cizeikiene, 2021). والتر و همکاران خمیرترش گندم سیاه، جو، کینوا، تف و آردگندم (نمونه گلوتن‌دار به‌عنوان شاهد) تخمیرشده توسط باکتری لاکتیک اسید هتروفرمنتاتیو (*L. plantarum* FST 1.7) را به نان اضافه کردند. نتایج حاصل از مقایسه نان‌های بدون گلوتن و نان شاهد (حاوی گلوتن) چندان رضایت‌بخش نبود. زمان

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

ماندگاری و عطر نان‌های بدون گلوتن با افزودن خمیرترش بهبود نیافت (Wolter et al. 2014b). بنابراین دوبروسکی و همکاران علاوه‌بر استفاده سویه‌های هتروفرمنتاتیو اختیاری باکتری‌های لاکتیک اسید از سویه‌های هتروفرمنتاتیو اجباری و مخلوط آنها با یک سویه هوموفرمنتاتیو را جهت تولید خمیرترش نان بدون گلوتن پیشنهاد دادند. برای تولید نان‌های بدون گلوتن از خمیرترش بدون گلوتن و پودر سماق کوهی استفاده شد. ویژگی‌های حسّی، حجم مخصوص، تخلخل نان بدون گلوتن افزایش یافت (Dubrovskaya et al. 2018).

غنی‌سازی نان‌های خمیرترش بدون گلوتن

در محصولات غذایی بدون گلوتن از پروتئین‌های گیاهی و حیوانی برای جبران کمبود پروتئین استفاده می‌شود. این منابع به‌دلیل محدودیت پایداری در روند تولید و ذخایر آن، برای تقاضای بازار کافی نیستند. به همین منظور، پروتئین حشرات به‌عنوان یک جایگزین مقرون به‌صرفه برای پروتئین‌های حیوانی مورد بررسی قرار گرفت. به تازگی استفاده از حشرات در صنایع غذایی در اتحادیه اروپا تحت مقررات اتحادیه اروپا (EC) شماره ۲۵۸/۹۷ در مورد غذاهای جدید مجاز و مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از آرد حشرات در محصولات نانوایی به بهبود محتوای پروتئین، چربی، فیبر و مواد معدنی، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کمک می‌کند. آرد کریکت (Cricket flour) گرفته شده از جیرجیرک‌های خانگی است. پژوهشگران گزارش کردند این آرد دسترسی بیوپلیمرهای خمیر را با کاهش سختی و بهبود قوام نان، افزایش داد (Kowalczewski et al. 2019). نیسین و همکاران از آرد کریکت برای تولید نان‌های خمیرترشی بدون گلوتن استفاده کردند. نان حاوی آرد کریکت در مقایسه با نان تولید شده تنها با آرد بدون گلوتن، به ویژه پس از تخمیر LAB، خواص آنتی اکسیدانی بالاتری داشتند. هم‌چنین نان‌های تولید شده دارای عطر مطلوبی بودند (Nissen et al. 2020). به‌کارگیری جلبک‌ها به‌عنوان روشی مناسب برای غنی‌سازی پروتئین، در محصولات نانوایی GF بسیار امیدوارکننده به نظر می‌رسند، زیرا پایدار، غنی از پروتئین‌ها و مواد فعال زیستی هستند. به‌عنوان مثال، زیست‌توده ریزجلبک *Arthorospira platensis*، با نام مستعار اسپیرولینا، امروزه به‌صورت پودر خشک شده، ورقه‌های خشک و یا به شکل کپسول تولید و به‌عنوان یک مکمل غذایی مورد مصرف قرار می‌گیرد (Lafarga et al. 2020). ترکیب تخمیر خمیرترش و نان‌های غنی شده با اسپیرولینا توانست اثر پری‌بیوتیکی داشته باشد، به‌طوری‌که برخی از جمعیت‌های باکتریایی مفید روده را تقویت کند و برخی از جمعیت‌های فرصت‌طلب را در محدودیت قرار دهد. هم‌چنین توانست اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه بیشتری تولید کند و امکان حفظ بیشتر ترکیبات زیست فعال آن را فراهم کند (Nissen et al. 2024).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

به‌کارگیری خمیرترش نوع سوم (خشک شـده) در نان بدون گلوتن

خمیرترش تازه تهیه شده در تخمیر کنترل شده را می‌توان با روش‌های مختلف خشک کردن مانند خشک کردن با اسپری، خشک‌کن انجمادی و خشک کردن در کوره (آون) خشک کرد. این کار باعث می شود تا عطر، طعم و برخی از خصوصیات کیفی محصول نهایی بهبود یابند. خمیرترش خشک امکان استفاده راحت با ماندگاری طولانی را برای مصرف‌کنندگان جهت تولید محصولات پخته شده با کیفیت بالاتر فراهم کرد (Gidari-Gounaridou et al. 2023).

یکی از راه‌های بهبود اثر خمیرترش در GFB استفاده از خشک‌کن انجمادی و خشک کردن خمیرترش است (Różyło et al. 2016). مکانیسم این روش شامل سه مرحله: انجماد نمونه، خشک کردن اولیه (تصعید نمونه یخ زده) و خشک کردن ثانویه می‌شود (Bhatta et al. 2020). این فرآیند می‌تواند روند تولید این محصولات را بهبود بخشد. خمیرترش های خشک شده انجمادی نیاز به تخمیر طولانی‌مدت ندارند (Różyło et al. 2016). محصولاتی که به این روش خشک می‌شوند از واکنش‌های اکسیداسیون مصون هستند و به دلیل دماهای پایین این فرآیند مواد مغذی، مواد حساس به حرارت و زنده‌مانی سلول‌ها و بقای سلولی را حفظ می‌کند (Marco et al. 2022).

خمیرترش گندم سیاه به‌صورت تازه مورد استفاده قرار گرفت؛ اما پژوهشگران استفاده از خمیرترش گندم سیاه خشک شده توسط خشک کن انجمادی را در تولید نان‌های بدون گلوتن پیشنهاد دادند. این کار باعث شد تا فرآیند تولید و زمان طولانی تخمیر را کاهش دهد. خمیرترش گندم سیاه در دماهای مختلف لیوفیلیزه شد. نمونه نان لیوفیلیزه شده در دمای ۲۰ درجه سلسیوس دارای حجم بیشتری بود، در حالی‌که نمونه نان با خمیرترش لیوفیلیزشده در دمای ۴۰ درجه سلسیوس دارای بافت بهتر و مدت ماندگاری بیشتری بود. در نتایج کار بیان شد که می‌توان از خمیرترش گندم سیاه خشک شده‌ی منجمد، برخلاف خمیرترش تازه، بدون نیاز به تخمیر اولیه که ساعت‌ها طول می‌کشد، به‌طور مستقیم در تولید استفاده کرد (Rózylo et al. 2015). روزیلو و همکاران از خمیرترش برنج تازه و خشک شده توسط خشک کن انجمادی در دماهای ۲۰ و ۴۰ درجه سلسیوس و در چند مقدار مختلف به آرد جهت تولید نان بدون گلوتن اضافه کردند. بین سفتی و انسجام نان‌های تولید شده با هر دو نوع خمیرترش تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. خمیرترش منجمد به مقدار ۲۰٪ در GFB نتایج پخت مطلوبی را ارائه داد (Różyło et al. 2016). پژوهشگران تأثیر دو روش خشک کردن (خشک‌کن انجمادی و آون) را روی خمیرترش آرد برنج و نخود در خمیر نان GF بررسی کردند. نتایج نشان داد که نان‌ها با خمیرترش تازه و خشک شده

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

انجمادی ویژگی‌های بافتی و ماندگاری بهتری در مقایسه با خشک شده در آون دارند (Gidari-Gounaridou et al. 2023).

کاربرد ترکیبی فرآیندهای آنزیمی و خمیرترش در محصولات بدون گلوتن

یکی از رویکردهای بهبوددهنده نان‌های GF، استفاده ازآنزیم ترانس گلوتامیناز (transglutaminase enzyme) است. این آنزیم باعث ایجاد واکنش و پیوند متقابل بین زنجیره‌های جانبی آمینواسیدهای لیزین و گلیسین می‌شود. این واکنش باعث بهبود محصولات پخته شده از نظر حجم، ماندگاری بیشتر و کاهش بیاتی در صنایع غذایی می‌شود. این آنزیم در بعضی از نان‌های بدون گلوتن براساس ماهیت آرد مورد استفاده، باعث افزایش حجم و کاهش سختی محصول نهایی شد. ویژگی‌های نان‌های خمیرترش آرد نخود و جو دوسر با افزودن این آنزیم بهبود نیافتند، اما نان‌های خمیرترش کینوا، برنج سفید و قهوه‌ای به ترتیب دچار افزایش حجم و کاهش سفتی شدند (Redd et al. 2024). اثر استفاده آنزیم ترانس گلوتامیناز و خمیرترش گندم سیاه توسط کشت‌های آغازگر *L. plantarum* ŁOCK 860 و *L. brevis* ŁOCK 1267 در نان‌های بدون گلوتن گندم مورد بررسی قرار گرفت. کیفیت حسی و مزه تلخ گندم سیاه به لطف خمیرترش در نان‌های تولید شده کمتر احساس شد. استفاده هم‌زمان خمیرترش و آنزیم تأثیر مثبتی بر کیفیت کلی محصول نهایی داشت (Diowksz and Sadowska. 2021b).

نتیجه‌گیری

براساس مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته، یکی از راه‌های کاهش عوارض بیماری‌های ناشی از عدم تحمل گلوتن در انسان‌ها، رژیم غذایی بدون گلوتن است؛ که امروزه با تلاش مهندسان و پژوهشگران این عرصه جایگزین‌های مناسبی برای جبران کمبود گلوتن در محصولات غذایی به‌ویژه نان که غذای اکثر مردم کشورهای مختلف است، معرفی شده است. به‌کاربردن جایگزین‌هایی مانند آردهای گندم سیاه، کینوا، سورگوم، برنج، تف، ارزن مرواریدی، دانه چیا، شاهدانه، بذر کتان و بلوط به تنهایی باعث ایجاد یک‌سری از ویژگی‌های حسّی و فیزیکی نامطلوب در نان می‌شوند. استفاده از فرآیند تخمیر و خمیرترش می‌تواند این کمبودها را در نان‌های بدون گلوتن جبران کند. خمیرترش شامل باکتری‌های اسید لاکتیک و مخمر است که عوامل مختلفی مانند نوع آرد مصرفی، نوع باکتری آغازگر به کار رفته در تخمیر، دما و زمان تخمیر می‌توانند بر محیط و فرآیند تخمیر اثر بگذارند. در نتیجه، خمیرترش‌های تولید شده با هر کدام از آردهای بدون گلوتن و آغازگرهای مختلف اثرات متفاوتی را ارائه می‌دهند. به‌کارگیری خمیرترش خشک شده یا خمیرترش همراه با آنزیم ترانس گلوتامیناز یا غنی‌شده

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

با مواد افزودنی حیوانی و گیاهی اثرات مثبتی بر روی ویژگی‌های نان‌های بدون گلوتن می‌گذارد. بنابراین نان‌های بدون گلوتن دارای خمیرترش می‌توانند اثرات مطلوب‌تری از خصوصیات فیزیکی و حسّی را در مقایسه با نان‌های GF بدون خمیرترش ارائه دهند.

فهرست منابع

References

Akeem SA, Mustapha BO, Ayinla RO, Ajibola O, Johnson WO, Akintayo OA. 2023. Physical characteristics, nutritional composition and acceptability of gluten-free crackers produced from germinated pearl millet (*Pennisetum glaucum*), defatted-sesame seed (*Sesamum indicum*) and defatted-tigernut (*Cyperus esculentus*) composite flours. Discover Food. 3(22): 1-17.

Allen B, Orfila C. 2018. The availability and nutritional adequacy of gluten-free bread and pasta. Nutrients. 10: 1370.

Al-Toma A, Volta U, Auricchio R, Castillejo G, Sanders DS, Cellier C, Mulder CJ, Lundin KEA. 2019. European Society for the Study of Coeliac Disease (ESsCD) guideline for coeliac disease and other gluten-related disorders. In United European Gastroenterology Journal. 7: 583-613.

Axel C, Röcker B, Brosnan B, Zannini E, Furey A, Coffey A, Arendt EK. 2015. Application of *Lactobacillus amylovorus* DSM19280 in gluten-free sourdough bread to improve the microbial shelf life. Food Microbiology. 47: 36-44.

Beltrão Martins R, Garzón R, Peres JA, Barros AIRNA, Raymundo A, Rosell CM. 2022. Acorn flour and sourdough: an innovative combination to improve gluten free bread characteristics. European Food Research and Technology. 248: 1691-1702.

Bender D, Fraberger V, Szepasvári P, D'Amico S, Tömösközi S, Cavazzi G, Jäger H, Domig KJ, Schoenlechner R. 2018. Effects of selected lactobacilli on the functional properties and stability of gluten-free sourdough bread. European Food Research and Technology. 244(6): 1037-1046.

Bender D, Schönlechner R. 2021. Recent developments and knowledge in pseudocereals including technological aspects. Acta Alimentaria. 50: 583-609.

Bhatta S, Janezic TS, Ratti C. 2020. Freeze-drying of plant-based foods. In Foods .MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 9(1).

Bhinder S, Kaur A, Singh B, Yadav MP, Singh N. 2020. Proximate composition, amino acid profile, pasting and process characteristics of flour from different Tartary buckwheat varieties. Food Research International. 130: 108946.1-13.

Cappelle S, Guylaine L, Gänzle M, Gobbetti M. 2013. History and social aspects of sourdough. In Handbook on Sourdough Biotechnology, Springer US. 1-10.

Cappelli A, Guerrini L, Cini E, Parenti A. 2019. Improving whole wheat dough tenacity and extensibility: A new kneading process. Journal of Cereal Science. 90: 102852.

Chavan RS, Jana A. 2008. Frozen dough for bread making–a review. International Journal of Food Science and Technology. 2: 9-27.

Chochkov R, Savova-Stoyanova D, Papageorgiou M, Rocha JM, Gotcheva V, Angelov A. 2022. Effects of teff-based sourdoughs on dough rheology and gluten-free bread quality. Foods. 11(7): 1012.

De Vuyst L, Van Kerrebroeck S, Harth H, Huys G, Daniel HM, Weckx S. 2014. Microbial ecology of sourdough fermentations: Diverse or uniform? Food Microbiology. 37: 11-29.

De Vuyst L, Van Kerrebroeck S, Leroy F. 2017. Microbial ecology and process technology of sourdough fermentation. Advances in Applied Microbiology. 100: 49-160.

Demirkesen I, Mert B, Sumnu G, Sahin S. 2010. Utilization of chestnut flour in gluten-free bread formulations. Journal of Food Engineering. 101: 329-336.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

Dentice Maidana S, Finch S, Garro M, Savoy G, Gänzle M, Vignolo G. 2020. Development of gluten-free breads started with chia and flaxseed sourdoughs fermented by selected lactic acid bacteria. LWT. 125.

Dereje N, Bekele G, Nigatu Y, Worku Y, Holland RP. 2019. Glycemic index and load of selected Ethiopian foods: An experimental study. Journal of Diabetes Research.

Diowksz A, Sadowska A. 2021. Impact of sourdough and transglutaminase on gluten-free buckwheat bread quality. Food Bioscience. 43: 101309.

Dubrovskaya N, Savkina O, Kuznetsova L, Parakhina O. 2018. The development of gluten-free sourdough bread technology with rowan powder. Agronomy Research. 16: 1360-1372.

Fernández-Peláez J, Paesani C, Gómez M. 2020. Sourdough technology as a tool for the development of healthier grain-based products: An update. In Agronomy. MDPI AG..10:1-20.

Fraberger V, Unger C, Kummer C, Domig KJ. 2020. Insights into microbial diversity of traditional Austrian sourdough. LWT. 127: 1-8.

Gänzle MG. 2014. Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation. Food Microbiology. 37: 2-10.

Gebru YA, Hyun-Ii J, Young-Soo K, Myung-Kon K, Kwang-Pyo K. 2019. Variations in amino acid and protein profiles in white versus brown teff (Eragrostis tef) seeds, and effect of extraction methods on protein yields. Foods. 8 (202):1-15.

Gharekhani M, Nami Y, Aalami M, Hejazi MA. 2021. Sourdoughs fermented by autochthonous Lactobacillus strains improve the quality of gluten-free bread. Food Science and Nutrition. 9(11): 6372-6381.

Gidari-Gounaridou C, Nouska C, Hatzikamari M, Kotsiou K, Biliaderis CG, Lazaridou A. 2023. Impact of dry sourdough based on a fermented chickpea starter on quality characteristics and shelf life of gluten-free bread. Food Bioscience. 53: 102780.

Gobbetti M, Rizzello CG, Di Cagno R, De Angelis M. 2014. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. Food Microbiology. 37: 30-40.

Houben A, Höchstötter A, Becker T. 2012. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: An overview. In European Food Research and Technology. 235: 195-208.

Helou C, Jacolot P, Niquet-Léridon C, Gadonna-Widehem P, Tessier FJ. 2016. Maillard reaction products in bread: A novel semi-quantitative method for evaluating melanoidins in bread. Food Chemistry. 190: 904–911.

İspirli H, Özmen D, Yılmaz MT, Sağdıç O, Dertli E. 2020. Impact of glucan type exopolysaccharide (EPS) production on technological characteristics of sourdough bread. Food Control. 107.

Jagelaviciute J, Cizeikiene D. 2021. The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread. LWT. 137:1-33.

Kowalczewski PŁ, Walkowiak K, Masewicz Ł, Bartczak O, Lewandowicz J, Kubiak P, Baranowska HM. 2019. Gluten-free bread with cricket powder—Mechanical properties and molecular water dynamics in dough and ready product. Foods. 8: 1-9.

Kumar CTM, Sabikhi L, Singh AK, Raju PN, Kumar R, Sharma R. 2019. Effect of incorporation of sodium caseinate, whey protein concentrate and transglutaminase on the properties of depigmented pearl millet-based gluten free pasta. LWT. 103: 19-26.

Lafarga T, Fernández-Sevilla J M, González-López C, Acién-Fernández F G. 2020. *Spirulina* for the food and functional food industries. Food Research International. 137: 109356.

Lafuente C, Calpe J, Musto L, Nazareth Tde M, Dopazo V, Meca G, Luz C. 2023. Preparation of Sourdoughs Fermented with Isolated Lactic Acid Bacteria and Characterization of Their Antifungal Properties. Foods. 12(4).

Mamhoud A, Nionelli L, Bouzaine T, Hamdi M, Gobbetti M, Rizzello C G. 2016. Selection of lactic acid bacteria isolated from Tunisian cereals and exploitation of the use as starters for sourdough fermentation. International Journal of Food Microbiology. 225: 9-19.

Marco IDe, Silva CMda, Moraes JOde, Menezes LAA, Miotto M, Laurindo JB, Lindner JDD. 2022. A systematic review of drying methods and their impact on technological characteristics of sourdough type III. Biotechnology Research and Innovation. 6(1): e2022003.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

Masoomshahi T, Ehsani J, Ebrahimi M. 2020. Isolation and identification of predominant lactic acid bacterial flora from oat bran sourdough and their antifungal ability. Iranian Journal of Medical Microbiology. 14(5): 408-424.

Matos ME, Rosell CM. 2015. Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance. In Journal of the Science of Food and Agriculture. 95 (4): 653-661.

Mir MB, Mir sajad A, Rajput R, Sablania S. 2021. Challenges in development of gluten-free breads. In Gluten-free Bread Technology. Springer. 15-28.

Mir NA, Riar CS, Singh S. 2018. Nutritional constituents of pseudo cereals and their potential use in food systems: A review. In Trends in Food Science and Technology. 75:170-180.

Morales D, Miguel M, Garcés-Rimón M. 2021. Pseudocereals: A novel source of biologically active peptides. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 61(9): 1537-1544.

Moroni AV, Dal Bello F, Arendt EK. 2009. Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue? Food Microbiology, 26(7): 676-684.

Muñoz LA, Cobos A, Diaz O, Aguilera JM. 2013. Chia Seed (Salvia hispanica): An Ancient Grain and a New Functional Food. Food Reviews International. 29(4): 394-408.

Mygdalia AS, Nouska C, Hatzikamari M, Biliaderis CG, Lazaridou A. 2022. A sourdough process based on fermented chickpea extract as leavening and anti-staling agent for improving the quality of gluten-free breads. Food Research International. 159: 111593.

Nami Y, Gharekhani M, Aalami M, Hejazi MA. 2019. Lactobacillus-fermented sourdoughs improve the quality of gluten-free bread made from pearl millet flour. Journal of Food Science and Technology. 56(9): 4057-4067.

Nami Y, Panahi B, Jalaly HM, Rostampour M, Hejazi MA. 2024. Probiotic characterization of LAB isolated from sourdough and different traditional dairy products using biochemical, molecular and computational approaches. Probiotics and Antimicrobial Proteins. 1-24.

Nionelli L, Montemurro M, Pontonio E, Verni M, Gobbetti M, Rizzello CG. 2018. Pro-technological and functional characterization of lactic acid bacteria to be used as starters for hemp (*Cannabis sativa* L.) sourdough fermentation and wheat bread fortification. International journal of food microbiology. 279: 14-25.

Nissen L, Casciano F, Chiarello E, Di Nunzio M, Bordoni A, Gianotti A. 2024. Sourdough process and spirulina-enrichment can mitigate the limitations of colon fermentation performances of gluten-free breads in non-celiac gut model. Food Chemistry. 436: 137633.

Nissen L, Samaei S P, Babini E, Gianotti A. 2020. Gluten free sourdough bread enriched with cricket flour for protein fortification: Antioxidant improvement and Volatilome characterization. Food Chemistry. 333: 1-47.

Olojede AO, Sanni AI, Banwo K. 2020a. Effect of legume addition on the physiochemical and sensorial attributes of sorghum-based sourdough bread. LWT. 118.

Olojede AO, Sanni AI, Banwo K, Adesulu-Dahunsi AT. 2020b. Sensory and antioxidant properties and in-vitro digestibility of gluten-free sourdough made with selected starter cultures. LWT. 129.

Parakhina O, Lokachuk M, Kuznetsova L, Savkina O, Pavlovskaya E, Gavrilova T. 2021. Evaluation of selected lactic acid bacteria as starter cultures for gluten-free sourdough bread production. Agronomy Research. 19: 1260-1272.

Pétel C, Onno B, Prost C. 2017. Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review. In Trends in Food Science and Technology. 59:105-123.

Pihlanto A, Mattila P, Mäkinen S, Pajari AM. 2017. Bioactivities of alternative protein sources and their potential health benefits. Food and Function. 8(10): 3443-3458.

Plessas S. 2021. Innovations in sourdough bread making. In Fermentation. 7 (1): 1-3.

Ramos L, Alonso-Hernando A, Martínez-Castro M, Morán-Pérez JA, Cabrero-Lobato P, Pascual-Maté A, Téllez-Jiménez E, Mujico JR. 2021. Sourdough biotechnology applied to gluten-free baked goods: Rescuing the tradition. In Foods. 10(7): 1-32.

Redd AJ, Pike OA, Ahlborn GJ. 2024. Effects of microbial transglutaminase on gluten-free sourdough bread structure and loaf characteristics. Journal of Cereal Science. 115: 103833.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

Ren Y, Linter B R, Linforth R, Foster TJ. 2020. A comprehensive investigation of gluten free bread dough rheology, proving and baking performance and bread qualities by response surface design and principal component analysis. Food and Function. 11(6):5333-5345.

Rinaldi M, Paciulli M, Caligiani A, Scazzina F, Chiavaro E. 2017. Sourdough fermentation and chestnut flour in gluten-free bread: A shelf-life evaluation. Food Chemistry. 224: 144-152.

Rizzello CG, Lorusso A, Montemurro M, Gobbetti M. 2016. Use of sourdough made with quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and autochthonous selected lactic acid bacteria for enhancing the nutritional, textural and sensory features of white bread. Food Microbiology. 56: 1-13.

Rózylo R, Rudy S, Krzykowski A, Dziki D, Gawlik-Dziki U, Rózylo K, Skonecki S. 2015. Effect of adding fresh and freeze-dried buckwheat sourdough on gluten-free bread quality. International Journal of Food Science and Technology. 50(2): 313-322.

Różyło R, Rudy S, Krzykowski A, Dziki D, Siastała M, Polak R. 2016. Gluten-free bread prepared with fresh and freeze-dried rice sourdough-texture and sensory evaluation. Journal of Texture Studies, 47(5): 443-453.

Sade FO. 2009. Proximate, antinutritional factors and functional properties of processed pearl millet (*Pennisetum glaucum*). Journal of Food Technology. 7(3): 92-97.

Sadeghian Motahar SF, Ariaeenejad S, Emam-Djomeh Z. 2021. Investigating the effect of quinoa protein and peptides on the quality of gluten-free bread. Journal of Biosafety. 14(3): 19-36.

Scarnato L, Montanari C, Serrazanetti D I, Aloisi I, Balestra F, Del Duca S, Lanciotti R. 2017. New bread formulation with improved rheological properties and longer shelf-life by the combined use of transglutaminase and sourdough. LWT-Food Science and Technology. 81:101-110.

Scherf KA, Catassi C, Chirdo F, Ciclitira P J, Feighery C, Gianfrani C, Koning F, Lundin KEA, Schuppan D, Smulders MJM, Tranquet O, Troncone R, Koehler P. 2020. Recent progress and recommendations on celiac disease from the working group on prolamin analysis and toxicity. In Frontiers in Nutrition 7:1-14.

Schoenlechner R, Bender D, D'Amico S, Kinner M, Tömösközi S, Yamsaengsung R. 2023. Dry fractionation and gluten-free sourdough bread baking from quinoa and sorghum. Foods. 12(16): 3125.1-17.

Šmídová Z, Rysová J. 2022. Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology. In Foods. 11(3): 1-18.

Stikic R, Glamoclija D, Demin M, Vucelic-Radovic B, Jovanovic Z, Milojkovic-Opsenica D, Jacobsen SE, Milovanovic M. 2012. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. Journal of Cereal Science. 55(2): 132-138.

Vernocchi P, Ndagijimana M, Serrazanetti D, Gianotti A, Vallicelli M, Guerzoni ME. 2008. Influence of starch addition and dough microstructure on fermentation aroma production by yeasts and lactobacilli. Food Chemistry. 108: 1217-1225.

Wolte A, Hager AS, Zannini E, Arendt EK. 2014a. Influence of sourdough on in vitro starch digestibility and predicted glycemic indices of gluten-free breads. Food and Function. 5: 564-572.

Wolter A, Hager AS, Zannini E, Czerny M, Arendt EK. 2014b. Impact of sourdough fermented with lactobacillus plantarum fst 1.7 on baking and sensory properties of gluten-free breads. European Food Research and Technology. 239: 1-12.

Zhu, F. 2016. Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat. Food Chemistry. 203: 231-245.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]

An Overview of the Importance and Application of the Sourdough Ecosystem in the Biological and Nutritional Safety of Gluten-Free Breads

Fariba Ghorbani Serayedashti [1] and Abbas Abedfar [2*]

1- MSc. Student of Food Science and Technology, University of Guilan, Rasht, Iran.

2- Assisstant Professor, Department of Food Science and Technology, University of Guilan, Rasht, Iran.

a.abedfar@guilan.ac.ir

Abstract

Celiac disease in humans is caused by intolerance to the protein part of some grains called gluten. Therefore, food industry researchers have been carried out much researches in the field of gluten-free bread (GFB) production. Among the available solutions to improve gluten-free products's quality and sensory characteristics, sourdough biotechnology can play a prominent role. Sourdough is a mixture of flour and water, which is fermented by an ecosystem of lactic acid bacteria (LAB) and yeasts; and provides conditions for improving the quality and nutritional characteristics of bakery products. Metabolites produced by lactic acid bacteria can play the role of gluten in these products. It is also a cost-effective process with high potential in the field of producing GF products. The effects of sourdough in these products depend on factors such as the characteristics of gluten-free flour, the type of starter culture in fermentation, nutrients in the fermentation medium, fermentation temperature, fermentation time, etc. In this study, we will examine the effects of using sourdough technology in gluten-free breads and the influencing factors of this technology.

Keywords: Celiac Disease, Gluten, Gluten-Free Bread, Lactic Acid Bacteria, Sourdough Biotechnology

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-01-29]