مروری بر فناوری‌های متداول و نوین جهت ارتقاء کیفیت فرآورده‌های بدون گلوتن

سیما مهاجر خراسانی[1]، مهران اعلمی[2*]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
۲- دانشیار دانشکده علوم و صنایع غذایی،دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۲٤)

چکیده

امروزه با توجه به افزایش جمعیت بیماران سلیاکی در سراسر جهان، تولید و بهبود کیفیت محصولات بدون گلوتن برای بیماران سلیاکی یکی از چالش‌های مهم در صنعت غذا می‌باشد. بیماری سلیاک نوعی بیماری خودایمنی گوارشی است که در اثر عدم تحمل مصرف پروتئین گلوتن بوجود می‌آید و در حال حاضر تنها راه درمان این بیماری استفاده از یک رژیم غذایی فاقد گلوتن است. حذف گلوتن از فرمولاسیون فراورده‌های نانوایی با بروز مشکلات تکنولوژیکی جدی در تولید محصول همراه است که در نهایت منجر به کیفیت پایین، احساس دهانی و طعم ضعیف در محصول می‌گردد. بنابراین، یافتن جایگزین مناسب برای گلوتن و یا فناوری‌هایی که قادر به جبران گلوتن در فرمولاسیون باشند همواره یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های فناوری در تولید فرآورده‌های بدون گلوتن می‌باشد و دلیل آن را می‌توان اهمیت این پروتئین در ایجاد ساختار بافتی و ظاهری مناسب در فرآورده دانست. از این‌رو پژوهشگران و تولید کنندگان سعی دارند تا با یافتن یک روش فراوری مناسب موجب ارتقاء محصولات بدون گلوتن شده و محصولاتی با کیفیت مشابه فرآورده‌های حاصل از آرد گندم ایجاد کنند. هدف از این مطالعه، مروری بر فناوری‌های مختلف جهت ارتقاء کیفیت فرآورده‌های بدون گلوتن می‌باشد. این فناوری‌ها شامل استفاده از روش‌های متداول مانند کاربرد صمغ‌ها و پروتئین‌ها، روش‌های بیوتکنولوژیکی مانند استفاده از آنزیم‌ها و خمیر ترش و روش‌های نوین شامل تیمارهای حرارتی و غیر حرارتی در تولید فرآورده‌های بدون گلوتن می‌باشد.

کلید واژگان: سلیاک، فراورده‌های بدون گلوتن، فناوری‌های نوین، ارتقاء کیفیت

* مسئول مکاتبات: mehranalami@gmail.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

۱- مقدمه

بیماری سلیاک نوعی بیماری خودایمنی گوارشی است که در اثر عدم تحمل مصرف پروتئین‌های گلایدین گندم، پرولامین چاودار (سکالین)، جو (هوردئین) و یولاف (آویدین) به وجود می‌آید. این بیماری حاصل تداخل عوامل ژنتیکی و زیست محیطی می‌باشد. مصرف گلوتن توسط بیماران مبتلا به سلیاک موجب التهاب روده کوچک، تخریب پرزهای روده و درنتیجه باعث اختلال در جذب چندین ماده مغذی مانند آهن، اسیدفولیک، کلسیم و ویتامین‌های محلول در چربی می‌شود [۱]. این بیماری همچنین باعث کاهش وزن، اسهال، کم‌خونی، خستگی، نفخ، کمبود فولات و پوکی استخوان می‌گردد [۲]. مطالعات اپیدمیولوژی نشان داد که بیماری سلیاک یکی از شایع‌ترین اختلالات مادام‌العمر بوده و شیوع آن در سراسر جهان حدود ۱ درصد تخمین زده شده است [۳]. تشخیص کلینیکی سلیاک بسته به سن بیمار، مدت و شدت بیماری به میزان زیادی متغیر است. به دلیل اینکه سلیاک یک بیماری خاموش می‌باشد، در بسیاری از موارد تشخیص داده نمی‌شود و ممکن است در طولانی مدت منجر به عوارضی مانند پوکی استخوان و یا سرطان گردد. در نتیجه افزایش آگاهی پزشکان در مورد بیماری سلیاک و روش‌های تشخیص مؤثر آن امری ضروری است. امروزه با در دسترس بودن آزمون‌های سرولوژی حساس و غیرتهاجمی، تشخیص بیماری سلیاک در عموم افراد جامعه امکان پذیر می‌باشد [٤]. در حال حاضر تنها راه درمان این بیماری استفاده از یک رژیم غذایی فاقد گلوتن است. رژیم غذایی فاقدگلوتن، مصرف نان، غلات یا دیگر غذاهای ساخته شده از آردگندم، جو، یولاف، چاودار و تریتیکیل را منع می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهد جهت حل این مشکل می‌توان از غلات فاقد گلوتن (برنج، ارزن، سورگوم و ذرت) و شبه غلات (کینوا، باکویت و آمارانت) در تهیه محصولات بدون گلوتن استفاده نمود [۳].

در بین آردهای مختلف، تنها آرد گندم است که وقتی با مقدار مناسب آب مخلوط می‌شود، خمیری منسجم و قوی تشکیل می‌دهد. آرد گندم توانایی حفظ گاز را داشته و پس از پخت تبدیل به فرآورده‌ای متخلخل و سبک می‌شود. این ویژگی مربوط به پروتئین‌های ذخیره‌ای گندم یعنی گلوتنین‌ها و گلایدین‌ها است که در کنار هم شبکه پروتئینی گلوتن را تشکیل می‌دهند. گلایدین‌ها زمانی که آبدار می‌شود بسیار چسبنده بوده و مسئول چسبندگی خمیر می‌باشند. در حالی که گلوتنین ماده‌ای قابل ارتجاع و لاستیک مانند، اما مستعد پاره شدن و ازهم گسیختن است و به خمیر ویژگی الاستیسیته (مقاومت در مقابل کشیده شدن) می‌دهد. گلوتن در آب نامحلول است و به سادگی می‌توان آن را توسط شستن جزئی خمیر آرد گندم با آب جدا نمود. شبکه گلوتن تعیین کننده اصلی ویژگی‌های مهم خمیر (گسترش پذیری، مقاومت به کشش، تحمل به اختلاط، قابلیت نگهداشت گاز) است که گرانول‌های نشاسته و قطعات فیبری را محصور می‌کند [۵]. فقدان گلوتن موجب تولید خمیر رقیق و فرآورده نهایی با حجم و تخلخل کم و دارای بافت شکننده می‌شود. حذف گلوتن منجر به مشکلات عمده‌ای برای تولیدکننده می‌گردد و در حال حاضر بسیاری از محصولات بدون گلوتن موجود در بازار دارای کیفیت پایین با احساس دهانی و طعم ضعیف هستند. [٦]. یافتن جایگزین مناسب برای گلوتن یک از بزرگ‌ترین چالش‌های فناوری در تولید فرآورده‌های بدون گلوتن می‌باشد و دلیل آن را می‌توان اهمیت این پروتئین در ایجاد ساختار بافتی و ظاهری مناسب در فرآورده دانست. در نتیجه سعی بر این است که این فرآورده‌ها کیفیتی مشابه فرآورده‌های حاصل از آرد گندم ایجاد کنند. در سال‌های اخیر تولید فرآورده‌های بدون گلوتن افزایش یافته است. تولیدکنندگان معمولاً از انواع نشاسته‌ها، هیدروکلوئیدها، پروتئین‌ها و آرد دیگر غلات مانند برنج، ذرت و سورگوم جهت ایجاد خواص مشابه گلوتن، احساس دهانی مطلوب و ماندگاری بالا استفاده می‌کنند [۷].

در تهیه محصولات بدون گلوتن می‌توان از انواع آردهای غلات و شبه غلات بدون گلوتن، بقولات و همچنین نشاسته‌های بدون گلوتن استفاده نمود. از جمله غلات بدون گلوتن برنج، سورگوم، ذرت و ارزن هستند. تا کنون دو گونه برنج (*Oryza sativa* و *Oryzaglaberrima*) و زیرگونه‌های مختلف ذرت (*Zea mays*)، سورگوم (*Sorghum bicolor L.Moench*)، تف (*Eragrostistef Trotter*)، ارزن انگشتی (*EleucinecoracanaL.Gaertn*)، ارزن مرواریدی (*PennisetumglacumL. R. Br.*) و ارزن دم روباهی (*Setaria italic L. P. Beauv*) در تولید محصولات بدون گلوتن استفاده شده‌اند. شبه غلاتی مانند آمارانت، باکویت و

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

کینوا نیز می‌توانند برای تولید محصولات نانوایی بدون گلوتن مورد استفاده قرار گیرند. از جمله مزایای شبه غلات، فقدان گلوتن، ارزش تغذیه‌ای بالا، کیفیت بالای پروتئین، دارا بودن اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه ضروری و میزان بالای مواد معدنی می‌باشد [۸]. در کنار غلات و شبه غلات ذکر شده، از آرد حبوباتی مانند نخود، باقلا، سویا، لوبیا و هم‌چنین آردهای تهیه شده از کاساوا، بلوط، نارگیل، بذرکتان و پلانتین[1] به عنوان افزودنی‌های نشاسته‌ای به دلیل ظرفیت نگهداشت آب در فرمولاسیون محصولات نانوایی بدون گلوتن استفاده می‌شوند. نشاسته‌ها مهم‌ترین کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای گیاهان می‌باشند و تاثیر زیادی بر پارامترهای خمیر، بافت، نگهداشت رطوبت و کیفیت نهایی محصول دارند. نشاسته در طول پخت آب را جذب کرده و یک ساختار نفوذپذیر به گاز ایجاد می‌کند. نشاسته‌های بدون گلوتن تجاری عمدتا از برنج، سیب‌زمینی، ذرت و کاساوا تهیه می‌شوند [۹]. از سال ۲۰۰۸ نشاسته گندم بدون گلوتن نیز در بازار موجود است. این نشاسته‌ها دارای گلوتن کمتر از حد استاندارد کدکس (۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) است و برای اکثر بیماران سلیاکی مضر نمی‌باشد. اختلاف بین نشاسته‌های ذکر شده در رفتار حرارتی، فرآیند ژلاتینه شدن، رفتار تشکیل ژل و بافت نهایی بر اساس ترکیب و ساختار شیمیایی منحصر به فرد آن‌ها می‌باشد. نشاسته‌های اصلاح شده توسط تیمارهای شیمیایی، آنزیمی، فیزیکی و یا حرارتی از نشاسته‌های خام تهیه می‌شوند و می‌توانند برای دستیابی به اهداف خاص در بافت محصولات نانوایی استفاده شوند [۸]. هدف از این مطالعه مروری بر فناوری‌های متداول و نوین جهت ارتقاء کیفیت فرآورده‌های بدون گلوتن می‌باشد. این روش‌ها شامل استفاده از صمغ‌ها و پروتئین‌ها، روش‌های بیوتکنولوژیکی مانند استفاده از آنزیم‌ها و خمیر ترش و روش‌های نوین شامل تیمارهای حرارتی و غیر حرارتی در تولید محصولات بدون گلوتن می‌باشد که در شکل زیر به طور خلاصه بیان شده است و در ادامه متن به طور مفصل به آن‌ها می‌پردازیم.

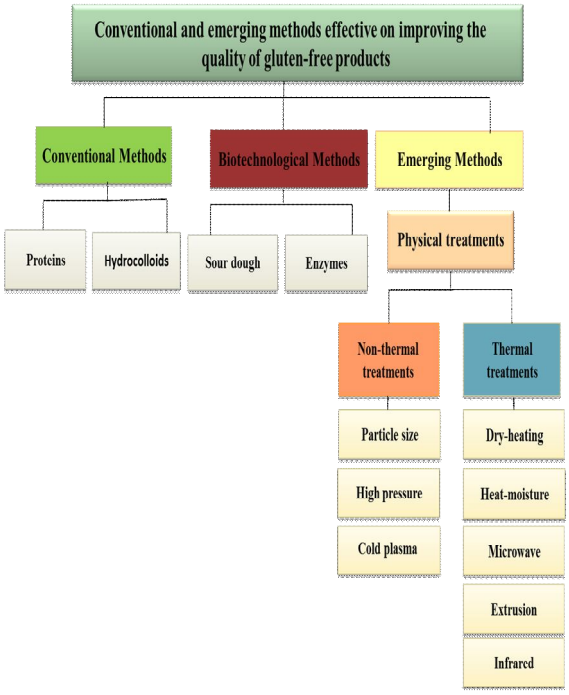

Fig 1 Conventional and emerging methods effective on improving the quality of gluten-free products

۲-راه‌های بهبود کیفیت محصولات بدون گلوتن

۲-۱- روش‌هایمتداول

۲-۱-۱-افزودن هیدروکلوئیدها

هیدروکلوئیدها به دلیل خصوصیت آن‌ها در تثبیت بافت می‌توانند به عنوان جایگزین گلوتن در پخت محصولات بدون گلوتن استفاده شوند. هیدروکلوئیدها بیوپلیمرهای محلول در آب هستند که با جذب آب سبب افزایش ویسکوزیته و در نتیجه پایداری برخی از سیستم‌های غذایی می‌شوند [۱۰]. هیدروکلوئیدها اغلب به عنوان قوام دهنده و کمک در تورم استفاده می‌شوند. هیدروکلوئیدها را می‌توان در سه دسته گیاهی و شیمیایی سنتزی و یا بیوسنتزی طبقه‌بندی نمود. از جمله منابع گیاهی شامل ۱) جلبک‌های دریایی مانند آگار-آگار و کاراگینان، ۲) استخراج شده از گیاهان مانند پکتین و بتاگلوکان، ۳) تراوشات گیاهی مانند صمغ عربی و کتیرا، ٤) موسیلاژ دانه‌ها مانند صمغ لوبیای لوکاست، صمغ عربی و پسیلیوم، ٥) نشاسته‌ها و نشاسته‌های اصلاح شده و سایر

1. Plantin

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

هیدروکلوئیدهای گیاهی مثل کنجاک می‌باشند. علاوه براین هیدروکلوئیدها، مشتقات سلولزی سنتز شده شیمیایی و بیوشیمیایی مانند هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، کربوکسی متیل سلولز و متیل سلولز و همچنین هیدروکلوئیدهای بیوسنتزی با منشأ میکروبی(زانتان) و منشأ کلاژنی (ژلاتین) نیز استفاده می‌شوند. در بین این هیدروکلوئیدها، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و بعد از آن صمغ زانتان بیشترین استفاده را درتولید محصولات بدون گلوتن دارند. در تهیه خمیر بدون گلوتن، هیدروکلوئیدها اغلب برای ایجاد رفتار ویسکوالاستیک و منسجم گلوتن و افزایش ظرفیت نگهداشت گاز توسط افزایش ویسکوزیته استفاده می‌شوند. مکانیسم عمل هیدروکلوئیدها در خمیر به این‌گونه است که با مولکول‌های آب برهم‌کنش داشته و انتشار آن‌ها را کاهش داده و باعث پایداری سیستم می‌شود [۸]. صمغ‌های زانتان، گوار و کربوکسی متیل سلولز محلول در آب سرد هستند و هیدروکلوئیدهای کاراگینان، صمغ لوبیای لوکاست و اکثر آلژینات‌ها برای هیدراتاسیون کامل به آب داغ نیاز دارند. مولکول‌های آب به سه روش مختلف به هیدروکلوئیدها متصل می‌شوند: از طریق باندهای هیدروژنی، درون مولکولی و یا تثبیت توسط ساختار [۱۱]. نقی‌پور و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشینتایج نشان دادند صمغ‌های زانتان و گوار به خصوص در حالت ترکیبی علاوه بر افزایش رطوبت قادر به افزایش حجم مخصوص، تخلخل، روشنایی پوسته و بهبود ویژگی‌های حسی و کاهش سفتی کیک فاقد گلوتن تهیه شده از آرد سورگوم طی یک هفته ماندگاری شدند [۱۲]. خاتمی و همکاران (۱۳۹٤) دریافتند افزودن آرد سورگوم و صمغ زانتان در فرمولاسیون کیک فاقد گلوتن بر پایه آرد برنج موجب افزایش تخلخل، حجم و نرمی بافت کیک شده است [۱۳]. سومنو و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند کیک بدون گلوتن برنج حاوی ترکیب صمغ زانتان و گوار دارای سفتی، افت وزن و آنتالپی واپس‌گرایی نشاسته کمتری نسبت به نمونه کنترل می‌باشد [۱٤]. پری چارت و همکاران (۲۰۱۱) اثر صمغ زانتان در کیک فاقد گلوتن فرموله شده با آرد ذرت و آرد برنج مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج بدست آمده با افزایش صمغ زانتان میزان حجم ویژه و شاخص روشنایی کیک افزایش یافت. افزایش صمغ زانتان سبب کاهش معنی‌دار سفتی نمونه‌های فاقد گلوتن نسبت به نمونه شاهد شد. همچنین نتایج نشان داد در طی ماندگاری نمونه‌های حاوی صمغ زانتان دارای رطوبت بیشتری بوده و نسبت به نمونه شاهد نرم‌تر بوده و دارای مقبولیت بیشتری نیز بودند [۱۵]. حجت الاسلامی و عزیزی (۲۰۱۵) با بررسی اثر صمغ زانتان و تراکاگانت در کیک بدون گلوتن تهیه شده از آرد برنج نشان دادند استفاده از این صمغ‌ها موجب افزایش تخلخل و حجم کیک، کاهش سفتی بافت و افزایش محتوی رطوبت کیک طی نگهداری شد [۱٦]. هرانز و همکاران (۲۰۱٦) گزارش کردنداستفاده از صمغ زانتان، پروتئین آب پنیر و اینولین در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن موجب افزایش ویسکوالاستیسیته خمیر، افزایش محتوی رطوبت، تخلخل و پذیرش حسی محصول شده است [۱۷]. گیول و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند استفاده از صمغ زانتان در فرمولاسیون کوکی بدون گلوتن حاصل از آرد ذرت، نشاسته ذرت، نشاسته برنج و سیب‌زمینی موجب افزایش روشنایی، سفتی، تردی و ضخامت کوکی و کاهش ضریب گسترش پذیری کوکی گردید. همچنین رطوبت و فعالیت آبی نمونه‌های حاوی صمغ زانتان نسبت به نمونه کنترل افزایش یافت و فرمولاسیون حاوی ۳ درصد صمغ زانتان پذیرش حسی مشابه کوکی حاصل از آرد گندم را داشت [۱۸]. ویدور و همکاران (۲۰۱۹) تاثیر صمغ زانتان و صمغ تارا بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نان بدون گلوتن تهیه شده از نشاسته ذرت و نشاسته سیب زمینی بطور جداگانه را مورد مطالعه قرار دادند. طبق نتایج بدست آمده، ترکیب صمغ زانتان با نشاسته سیب زمینی موجب افزایش حجم و بهبود خصوصیات بافتی نان گردید اما این نتایج درمورد افزودن صمغ تارا به فرمولاسیون حاوی نشاسته سیب زمینی صادق نبود. از طرفی افزودن صمغ زانتان و تارا در فرمولاسیون نان بدون گلوتن حاوی نشاسته ذرت نتایج مشابهی را موجب شدند. بنابراین این پژوهشگران بیان کردند تاثیر هیدروکلوئیدها بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی نان بدون گلوتن به میزان زیادی به نشاسته مورد استفاده در فرمولاسیون وابسته است [۱۹]. قاسمی و همکاران (۲۰۱۹)

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

پژوهشی بر تاثیر صمغ فارسی و تراگاکانت بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی کیک بدون گلوتن بر پایه آرد برنج و کینوا انجام دادند و بیان کردند استفاده از این صمغ‌ها موجب افزایش ویسکوزیته خمیر و افزایش حجم، تخلخل و محتوی رطوبت کیک گردید. طبق نتایج بدست آمده نمونه حاوی ۷۵ درصد صمغ فارسی و ۷۵ درصد صمغ تراکاگانت بیشترین پذیرش حسی را دارا بود [۲۰].

۲-۱-۲- افزودن پروتئین‌ها

پروتئین‌ها از جمله جایگزین‌های گلوتن در تولید فرآورده‌های بدون گلوتن می‌باشند که به منظور تشکیل شبکه پروتئینی مشابه گلوتن و افزایش ارزش تغذیه‌ای در محصول استفاده می‌شوند. از جمله پروتئین‌های مورد استفاده در تولید فرآورده‌های بدون گلوتن، پروتئین‌های حیوانی مانند پروتئین‌های لبنی و آلبومین تخم مرغ و پروتئین‌های گیاهی مانند پروتئین سویا و حبوبات می‌باشند. پروتئین‌های لبنی نقش مهمی در افزایش واکنش مایلارد، بهبود رنگ و بافت محصولات بدون گلوتن دارند. کازئینات از جمله پروتئین‌های شیر است که خاصیت امولسیفایری خوبی دارد و قادر به تثبیت خمیر می‌باشد. پروتئین‌های آب پنیر به خوبی تشکیل ژل می‌دهند و در درجه حرارت بالا نیز شیر خشک بدون چربی ظرفیت اتصال آب بالایی دارد. پروتئین‌های تخم مرغ نیز در فرآورده‌های بدون گلوتن به عنوان جایگزین گلوتن مورد استفاده قرار می‌گیرند. آلبومین یکی از پروتئین‌های سفیده تخم‌مرغ می‌باشد که به دلیل فعالیت سطوح مرزی آن‌ها می‌تواند به عنوان عامل تشکیل‌دهنده کف، ایجاد کننده بافت و ایجاد یک شکل مناسب در فرآورده مورد استفاده قرار گیرد. در بین منابع گیاهی آرد سویا و یا ایزوله پروتئینی سویا بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند که دارای میزان اسیدآمینه لایزین بالایی می‌باشند و از طریق تشکیل ژل منجر به بهبود بافت مغز و افزایش حجم محصول می‌گردند. یک منبع پروتئینی گیاهی دیگر حبوبات می‌باشند که تشکیل ژل قوی داده و برای تولید امولسیون و کف استفاده می‌شوند [۸]. صوفیان و همکاران (۱۳۹۲) اثر کنجاله بادام شیرین و صمغ زانتان را در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن برنج بررسی کردند. بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش سطح کنجاله بادام شیرین و افزودن صمغ زانتان تخلخل کیک افزایش یافت. ارزیابی حسی نیز نشان داد که نمونه‌های حاوی کنجاله بادام شیرین و صمغ زانتان نسبت به نمونه شاهد، از مقبولیت بیشتری برخوردار بودند[۲۱]. عباس زاده و همکاران (۱۳۹٦) نشان دادند با استفاده از کنسانتره پروتئین بادام شیرین و صمغ زانتان می‌توان کیفیت کیک حاصل را بهبود بخشید [۲۲]. هادی طالبی و همکاران (۱۳۹٦) نشان دادند استفاده از ایزوله پروتئین سویا باعث افزایش حجم مخصوص و کاهش سفتی بافت کیک بدون گلوتن بر پایه آرد برنج شد [۲۳]. جیوتسنا و همکاران (۲۰۱٦) از مخلوط آرد ارزن انگشتی و کنسانتره پروتئین آب پنیر به نسبت‌های مختلف در تهیه مافین استفاده کردند. مافین‌های تهیه شده با ۹۰ درصد آرد ارزن و ۱۰ درصد کنسانتره پروتئین، بیشترین حجم و نمره کیفیت کلی را داشتند. همچنین استفاده از کنسانتره پروتئین آب پنیر موجب کاهش سفتی و افزایش قابلیت ارتجاعی نمونه‌ها شد [۲٤]. یلدیز و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند استفاده از پروتئین‌آب پنیر باعث افزایش نخلخل، حجم مخصوص و کاهش سفتی بافت کیک بدون گلوتن گردیده است [۲۵]. گیری و ساخال (۲۰۱۹) در پژوهشی استفاده کنسانتره آب پنیر به همراه ساکارز در فرمولاسیون کوکی بدون گلوتن را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از ترکیب آردی سیب زمینی شیرین، ذرت، سورگوم و برنج استفاده شد و کنسانتره پروتئین آب پنیر و سوکرالوز در سطوح مختلفی جایگزین سیب زمینی شیرین گردید. نتایج نشان داد با افزایش سطح پروتئین آب پنیر ضخامت و سفتی کوکی افزایش و وزن، قطر و ضریب گسترش پذیری کوکی کاهش یافت. همچنین میزان پروتئین و فیبر خام افزایش و محتوی کربوهیدرات، چربی و کالری محصول کاهش یافت. طبق نتایج بدست آمده جایگزینی آرد سیب زمینی شیرین با ۱۵ درصد کنسانتره آب پنیر و ۷۰ درصد ساکارز بالاترین میزان پذیرش حسی را دارا بود [۲٦].

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

Table 1 Traditional methods used to improve the quality of gluten-free products

Conventional methods	Results	Reference
Hydrocolloids		
Use of xanthan gum and guar gum in rice cake formulation	Decreased stiffness, weight loss and enthalpy of starch regression	Sumnu et al. (2010)
Use of xanthan gum and guar gum in formulation of sorghum cake	Increased moisture, specific volume, porosity, Reduced tissue stiffness improve sensory properties	Naghipoor et al. (2013)
The effect of adding sorghum flour and xanthan gum on gluten-free cake formulation based on rice flour	Increased specific volume, porosity Reduced tissue stiffness,	Khatami et al. (2015)
Using xanthan gum and tragacanth in gluten-free cake made from rice flour	Increased the porosity and volume of the cake, decreased the firmness of the cake and increased the moisture content of the cake during storage	Hojjatoleslami et al. (2015)
Use of xanthan gum, whey protein and inulin in gluten free cake formulation	Increased the viscosity of the batter Increased moisture content, porosity and sensory acceptance of the product	Herranz et al. (2016)
Use of xanthan gum in gluten-free cookie formulation derived from corn flour, corn starch, rice starch and potatoes	Increased brightness, stiffness, crispness, thickness, moisture, and water activity Decreased the spread ability factor	Gul et al. (2018)
The effect of xanthan gum and tara gum on the physicochemical properties of gluten-free bread made from corn starch and potato starch	Combining Xanthan Gum with Potato Starch: Increased the Size and Improving the Textural Characteristics of Bread Combining Xanthan and Tara Gum with Corn Starch: Increased the Size and Improved the Textural Characteristics of Bread	Vidaurre et al. (2019)
Application of Persian gum and tragacanth on physicochemical and sensory properties of gluten-free cake based on rice flour and kinoa	Increased the dough viscosity Increased the volume, porosity and moisture content of the cake	Ghasemi et al. (2019)
Proteins		
Effect of sweet almond meal and xanthan gum on gluten free rice cake formulation	Increased the viscosity of the batter Increased moisture content, volume, porosity and sensory acceptability of the product	Sufian et al. (2013)
Application of Mixed Millet Flour and Whey Protein Concentrate to different Ratios in Maffeine Preparation	Increased the volume and porosity Increased the elasticity of the specimens, decreased tissue hardness	Jyotsna et al. (2016)
The Effect of Using Sweet Almond Protein Concentrate and Xanthan Gum on Rice Cake Quality	Increased specific volume Decreased tissue stiffness Increased moisture content during shelf life	Abbaszadeh et al. (2017)
Use of soy protein isolate in rice cake formulation	Increased the specific volume Reduced the firmness of the cake texture	Talebi et al. (2017)
Use of Whey Protein in Gluten Free Cake Formulation	Increased prosity, specific volume and decreased firmness of cake texture	Yıldız et al. (2017)
Use of whey concentrate with sucrose in gluten-free cookie formulation based on sweet potato, corn, sorghum and rice	Increased cookie thickness and firmness Weight loss, diameter and extensibility coefficient Increased crude protein and fiber Reduced carbohydrate, fat and calorie content	Giri et al. (2019)

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

۲-۲- روش‌های بیوتکنولوژیکی

۲-۲-۱-استفاده از آنزیم‌ها

آنزیم‌های زیادی به طور طبیعی در ماده خام مانند اکثر آردها وجود دارد اما بیشتر آن‌ها در مراحل مختلف تولید غیرفعال می‌شود. در محصولات بدون گلوتن آنزیم‌ها به منظور افزایش کیفیت محصول نهایی به فرمولاسیون اضافه می‌گردد. آنزیم‌ها در فرآورده‌های فاقد گلوتن از طریق هیدرولیز، اکسیداسیون و یا اتصالات عرضی پروتئین‌ها سبب بهبود خواص رئولوژی مرتبط با فرآورده و افزایش کیفیت پخت نهایی محصول می‌شود [۲۷]. بسته به فعالیت آنزیمی برخی ویژگی‌های محصول مانند ظرفیت اتصال آب، عمر ماندگاری، واپس‌گرایی و نرمی مغز می‌تواند به طور مثبت تحت تأثیر قرار گیرد. از جمله آنزیم‌های مورد استفاده در تولید فرآورده‌های بدون گلوتن آمیلاز اصلاح‌کننده نشاسته، سیکلودکسترین‌گلیکوزیل ترانسفراز یا ترانس گلوتامیناز متصل کننده پروتئین می‌باشند. همچنین گلوکز اکسیداز، لاکاز و پروتئازها نیز می‌توانند در فرمولاسیون فرآورده‌های بدون گلوتن استفاده شوند [۸]. مهربان شندی (۱۳۹۲) اثر صمغ گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خمیر و کیک اسفنجی بدون گلوتن مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند نمونه حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار دارای بالاترین امتیاز در آزمون‌های ارزیابی بود [۲۸]. مور و همکاران (۲۰۰٦) از سطوح مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز به همراه سه منبع پروتئین پودر شیر پس چرخ، آرد سویا و پودر تخم مرغ در فرمولاسیون نان بدون گلوتن استفاده کردند. نتایج نشان داد فرمولاسیون نان حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز به همراه پروتئین شیرپس چرخ و تخم مرغ نسبت به پروتئین سویا به میزان بیشتری موجب بهبود کیفیت نان از جمله افزایش حجم، تخلخل، ظرفیت جذب آب، کاهش سفتی و افزایش پذیرش حسی گردید [۲۹]. کاوامورا و همکاران (۲۰۱۳) استفاده از آنزیم پروتئاز در فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه برنج موجب بهبود کیفیت نان از جمله افزایش حجم، تخلخل و کاهش سفتی بافت نان گردید و سرعت فرآیند بیاتی نان بطور قابل توجهی نسبت به نمونه کنترل کاهش یافت [۳۰]. سعیدی و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند استفاده از پودر دانه انار و آنزیم ترانس گلوتامیناز در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن موجب اثرات مثبتی بر ویژگی‌های کیک مانند کاهش افت وزن و افزایش محتوی رطوبت کیک گردید [۳۱]. رومانو و همکاران (۲۰۱۸) تاثیر استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز و پروتئاز بر نان بدون گلوتن بر پایه کینوا را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند استفاده از این آنزیم‌ها موجب بهبود ویژگی‌های کیفیت نان از جمله افزایش حجم و تخلخل، کاهش سفتی و کاهش بیاتی نان گردیدند اما آنزیم پروتئاز موجب ایجاد پپتیدهای تلخ مزه و تیرگی رنگ مغز و پوسته نان شد.بنابراین فرمولاسیون حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز از پذیرش حسی بالاتری برخوردار بود [۳۲].

۲-۲-۲- استفاده از خمیر ترش

استفاده از خمیر ترش یکی از روش‌های بیوتکنولوژیکی به منظور بهبود کیفیت محصولات نانوایی بدون گلوتن می‌باشد. خمیر ترش یک استارتر طبیعی برای ورآمدن خمیر طی تخمیر است و شامل مخلوطی از آب، آرد و سایر اجزاء مانند نمک می‌باشد که بطور طبیعی توسط باکتری‌های اسید لاکتیک و مخمرها تخمیر می‌شود. عمده ترین باکتری‌ها و مخمرهای موجود در خمیر ترش به ترتیب به جنس‌های ساکارومایسز (گونه‌های لاکتوباسیلوس، لوکونستوک و پدیوکوکوس) و کاندیدا تعلق دارند [۳۳]. در محصولات بدون گلوتن خمیر ترش از طریق شکستن پروتئین‌های غیرگلوتنی و ترکیبات نشاسته‌ای توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک موجب افزایش الاستیسیته خمیر و بهبود نگه‌داری حباب‌های هوا شده و نرمی و حجم محصولات بدون گلوتن را افزایش می‌دهد [۳٤ و ۳۵]. همچنین باکتری‌های اسید لاکتیک از طریق تخمیر کربوهیدرات‌های محلول (مانند مالتوز، گلوکز و فروکتوز)، متابولیسم ترکیبات نیتروژنی و تولید ترکیبات فرار در بهبود طعم محصولات پختی بدون گلوتن شرکت می‌کنند [۳٦]. از طرفیآنزیم‌های سنتز شده توسط باکتری‌های اسید لاکتیک موجب تغییر خواص رتروگرادسیون خمیر و کاهش نرخ بیاتی و در نتیجه افزایش ماندگاری محصول بدون گلوتن می‌گردد [۳۷ و ۳۸]. هوبن و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند استفاده از گونه‌های لاکتوباسیلوس پلنتاروم و لاکتوباسیلوس پارالیمنتاریوس در فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه آمارانت موجب بهبود ویسکوزیته و الاستیسته خمیر شدند و ویژگی‌های رئولوژیکی مشابه خمیر حاصل از گندم را نشان دادند [۳۹]. موروني و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند استفاده از سه گونه لاکتوباسیلوس پلانتاروم، لاکتوباسیلوس

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

پارالیمنتاریوس و وئیسلا کیباریا در خمیر بدون گلوتن حاصل از آرد باکویت و تف، توسط هیدرولیز پروتئین و نشاسته آرد باکویت موجب افزایش قابل توجه قوام شبکه خمیر حاصل از آرد شده است [٤٠]. الکس و همکاران (٢٠١٥) در پژوهشی از گونه لاکتوباسیلوس آمیلووروس بعنوان استارتر در فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه کینوا استفاده کردند و نشان دادند استفاده از این گونه لاکتوباسیلوس در فرمولاسیون نان موجب کاهش سفتی، افزایش حجم نان و مدت زمان ماندگاری محصول نسبت به نمونه کنترل گردید [٤١]. کاپا و همکاران (٢٠١٦) تاثیر استفاده از خمیر ترش و *ساکارومایسز سروزیه* بر ویژگی‌های نان بدون گلوتن را بررسی کردند. نتایج نشان داد استفاده از خمیر ترش به تنهایی و خمیر ترش به همراه مخمر در فرمولاسیون نان تاثیر بیشتری بر بهبود ویژگی‌های محصول از جمله حجم مخصوص، تخلخل، نرمی بافت، رطوبت و ماندگاری داشت [٤٢]. بندر و همکاران (٢٠١٨) دریافتند استفاده از گونه‌های لاکتوباسیلوس در فرمولاسیون نان بدون گلوتن ارزن و باکویت موجب بهبود ویژگی‌های محصول از جمله افزایش حجم، تخلخل و نرمی بافت گردید [٤٣].

Table 2 Biotechnological methods used to improve the quality of gluten-free products

Biotechnological methods	Results	Reference
Enzymes		
Use of transglutaminase enzyme with three protein sources of whey powder, soy flour and egg powder in gluten free bread formulation	Transglutaminase along with whey protein and egg protein had a greater effect on bread quality than soy protein, such as increased volume, porosity, water uptake capacity, decreased firmness and increased sensory acceptance.	Moore et al. (2006)
Effect of guar gum and microbial transglutaminase on the physicochemical properties of gluten-free sponge cake and sponge cake	Increasedthe volume and porosity of the cake Increased moisture content during shelf life Reduced cake firmness	Mehrabanshandi (2012)
Application of Protease Enzyme in Rice-Based Gluten-Free Bread Formulation	Increased volume, porosity Decreased firmness of bread texture and speed of staling process	Kawamura et al. (2013)
Application of Pomegranate Seed Powder and Transglutaminase Enzyme in Gluten Free Cake Formulation	Reduced weight loss Increasing moisture content	Saeidi et al. (2018)
The Effect of Transglutaminase and Protease on Gluten-Free Bread Based on Kinova	Increased volume and porosity Reduced stiffness and reduce stale bread Creation of bitter-tasting peptides and darkened of brain color and bread crust by the protease enzyme	Romano et al. (2018)
Sourdough		
Use of Lactobacillus plantarum and Lactobacillus parallimentarius species in Amaranth based gluten-free bread formulation	Improved the viscosity and elasticity of the dough Improved the structure and texture of bread and rheological properties similar to wheat dough	Huben et al. (2010)
Application of three species of Lactobacillus plantarum, Lactobacillus paralimentarius and Vesellakibaria in dough from Buckwheat and Teff flour	increased in the consistency of the and resulted pulp network	Moroni et al. (2011)
Use of Lactobacillus amylurus as starter in gluten-free bread formulation	Reduced stiffness Increased bread volume and shelf life	Alex at al. (2015)
Application of Sourdough and Saccharomyces cerevisiae on the characteristics of gluten-free bread	Increased specific volume, porosity, softness, moisture content and shelf life	Cappa et al. (2016)
Application of Lactobacillus species in the formulation of millet bread and buckwheat bread	Increased volume, porosity Reduced the firmness of bread texture	Bender et al. (2018)

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

۲-۳- روش‌های نوین

تیمارهای فیزیکی از جمله روش‌های مورد استفاده برای اصلاح ویژگی‌های عملکردی آردهای بدون گلوتن و در نتیجه بهبود کیفیت محصولات حاصل از آن‌ها می‌باشد. تاکنون انواع مختلف تیمارهای حرارتی غیرحرارتی به کار گرفته شده‌اند که در ادامه به آن‌ها می‌پردازیم:

۲-۳-۱- روش‌های حرارتی

۲-۳-۱-۱-حرارتی خشک

آرد می‌تواند در معرض شدت‌های مختلف تیمار حرارتی قرار گیرد. تیمار حرارتی خشک یکی از تیمارهای حرارتی ساده می‌باشد که می‌تواند جهت نگهداری آرد با رطوبت بالاتر از ۱۵ درصد استفاده گردد. تیمار حرارتی می‌تواند باعث اصلاح گرانول‌های نشاسته، غیرطبیعی شدن پروتئین‌ها، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، کاهش بار میکروبی و حتی بهبود طعم و آروما گردد و آرد را برای استفاده در تولید محصولات بدون گلوتن مناسب کند. [٤٤]. تیمار حرارتی خشک یک روش تیمار فیزیکی برای اصلاح ویژگی‌های کاربردی و عملکردی نشاسته خام از جمله، از جمله خصوصیات چسبندگی نشاسته، ویژگی‌های مورفولوژیکی گرانول‌های آن، آب‌گیری آمیلوز، خصوصیات بافتی و... می‌باشد [٤٥]. تیمار حرارتی بعنوان یکی روش مناسب برای بهبود کیفیت کیک و نان به وی/زه در آردهای ضعیف و غیر استادارد پیشنهاد شده است. با قرار گرفتن آرد در معرض حرارت، پروتئین‌ها و آنزیم‌ها غیرطبیعی شده و موجب افزایش انبساط خمیر می‌گردد. مکانیسمی که موجب بهبود آرد تیمار شده به روش حرارتی می‌شود کاملا شناخته شده نیست اما مشخص است که طی فرآیند تیمار حرارتی، غیرطبیعی شدن پروتئین و ژلاتینه شدن نشاسته اتفاق می‌افتد [٤٦]. آرد تیمار شده به روش حرارتی می‌تواند در فرمولاسیون محصولات پختی مختلف از جمله کیک، نان، کوکی، بیسکوییت و... مورد استفاده قرار گیرد. نخستین بار روسو و دو (۱۹۷۰) آرد تیمار شده به روش حرارتی خشک را با استفاده از محدوده دمایی ۱۱۵-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ٦۰ دقیقه ثبت اختراع کردند[٤٧].کریمی عبدالملکی و همکاران (۱۳۹۷) اثر تیمار حرارتی آرد نخود بر کیفیت کیک بدون گلوتن بر پایه آرد برنج را مورد بررسی قرار داده و دریافتند استفاده از آرد نخود تیمار شده در فرمولاسیون کیک باعث کاهش وزن مخصوص، کاهش سفتی بافت، افزایش حجم و تخلخل بافت کیک گردید [٤٨]. مارستون و همکاران (۲۰۱٦) تأثیر تیمار حرارتی خشک آرد سورگوم را بر کیفیت کیک حاصل بررسی کردند و نشان دادند تیمار حرارتی آرد موجب افزایش ویسکوزیته خمیر و افزایش حجم مخصوص، تخلخل و پذیرش کلی نمونه کیک گردیده است [٤٦]. بوکسلا و همکاران (۲۰۱٦) در پژوهشی دریافتند تیمار حرارتی خشک موجب مقاومت و استحکام بیشتر خمیر کیک در طی مخلوط کردن گردید که احتمالاً به دلیل شکل‌گیری مجدد باندهای دی‌سولفیدی در شبکه گلوتنی می‌باشد که این امر موجب افزایش کیفیت محصول می‌شود. همچنین این محققین بیان کردند که تیمار حرارتی خشک با تجمع پروتئین‌ها و ژلاتینه‌شدن جزئی نشاسته افزایش چشم‌گیری در ویسکوزیته محصول ایجاد می‌کند [٤٩].

۲-۳-۱-۲-حرارتی-رطوبتی

تیمار حرارتی-رطوبتی یکی از روش‌های تیمار فیزیکی مهم مورد استفاده به منظور بهبود خصوصیات عملکردی آرد و یا نشاسته می‌باشد. هنگامی که حرارت‌دهی در حضور مقدار کافی آب (هیدراسیون قبلی آرد یا نشاسته) انجام شود، تغییرات مورفولوژیکی درون گرانول‌های نشاسته اتفاق می‌افتد که میزان این تغییرات به شرایطی مانند رطوبت و دما بستگی دارد. این تیمارها عمدتا به دو دسته تقسیم می‌شوند: آن‌هایی که زیر دمای ژلاتینه شدن انجام می‌شوند و شکل گرانول‌های نشاسته حفظ می‌شوند و دسته دوم آن‌هایی هستند که بالای دمای ژلاتینه شدن انجام می‌شوند و بنابراین تخریب غیرقابل برگشت در نظم مولکولی گرانول نشاسته اتفاق می‌افتد [٤٤]. فرآیند آنیل کردن[۲](باز پخت) نشاسته بعنوان یک تیمار فیزیکی است و زمانی اتفاق می‌افتد که نشاسته در حضور میزان آب اضافی (٤۰ درصد یا بیشتر)، در دمای بالاتر از دمای گذر از حالت شیشه‌ای[۳]و زیر دمای ژلاتینه شدن قرار گیرد. یکی دیگر از تیمارها، تیمار حرارتی- رطوبتی غلات است که شامل سه پارامتر کلیدی دما، محتوی رطوبت و مدت زمان تیمار می‌باشد. این تیمار یک روش اصلاح فیزیکی ایمن و کم‌هزینه است که شامل تیمار نمونه‌ها (دانه یا نشاسته) در رطوبت‌های کمتر از

---

۲. آنیل کردن (Annealing) درعلم مواد، به فرایندی می گویند که موجب تغییر خواص ماده مانند سختی و شکل پذیری آن می شود. این فرایند شامل گرم کردن ماده تا دمایی مناسب ، نگه داری در آن دما در زمان مشخص و کافی و سپس سرد کردن آن با سرعت مناسب تا دمای محیط می باشد. کلمه آنیل (بازپخت) مفهوم گسترده ای داشته و هم در بخش فلزات و آلیاژهای آهنی و هم غیر آهنی کاربرد دارد.

3. Glass transition temperature

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

۳۵ درصد و دمای بین ۱۲۰-۸٤ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه تا ۱٦ ساعت می‌باشد. تحت این شرایط به دلیل محتوی رطوبت کم ژلاتینه‌شدن نشاسته اتفاق نمی‌افتد. تیمار حرارتی-رطوبتی موجب افزایش دمای گذر از حالت شیشه‌ای، گسترش محدوده دمای ژلاتینه شدن، نشت آمیلوز و افزایش پایداری حرارتی می‌شود [۵۰]. همچنین این تیمار خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی گرانول‌های نشاسته را تغییر می‌دهد از جمله این تغییرات، تغییر ساختار کریستالی، ظرفیت تورم، ژلاتینه شدن، خواص خمیری و واپس‌گرایی می‌باشند. علاوه بر این موارد، آردها و نشاسته‌های تیمار شده حرارتی-رطوبتی قابلیت امولسیون کنندگی بالایی دارند که می‌تواند اختلاط هوا در خمیر را افزایش داده و باعث بهبود ویژگی‌های بافتی و کیفیت نهایی محصول گردد [٤٤]. مهاجر خراسانی و همکاران (۱۳۹۸) دریافتند استفاده از آرد حاصل از دانه ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن بر پایه برنج موجب بهبود کیفیت کیک بدون از جمله نرمی‌بافت، افزایش حجم و تخلخل، کاهش افت پخت، افزایش محتوی رطوبت طی نگه‌داری گردید [۵۱]. کرمی و همکاران (۱۳۹۸) تاثیر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن معمولی بر ویژگی آرد و کوکی حاصل از آن را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند با افزایش شدت تیمار حرارتی-رطوبتی ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها افزایش وظرفیت جذب روغن کاهش یافت. همچنین با افزایش شدت تیمار حرارتی-رطوبتی افت پخت، فعالیت آبی و سفتی کوکی ها کاهش یافت. بعلاوه گسترش پذیری نمونه‌ها افزایش و رنگ کوکی‌ها نیز تیره‌تر شد[۵۲].چانگ و همکاران (۲۰۱۲) آن‌ها تأثیر برنج قهوه‌ای جوانه زده خام و تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی را بر بافت و کیفیت پخت نودل‌های حاوی مخلوط آرد گندم و برنج قهوه‌ای جوانه‌زده مورد ارزیابی قرار دادند. طبق نتایج به دست آمده با افزایش میزان آرد برنج قهوه‌ای جوانه‌زده خام، سفتی و استحکام کششی نودل‌های مخلوط کاهش یافت و افت پخت و جذب آب افزایش یافت. همچنین ویسکوزیته خمیری شدن مخلوط آرد گندم با افزایش مقدار آرد جوانه‌زده خام کاهش یافت. از طرف دیگر تیمار حرارتی-رطوبتی آرد برنج قهوه‌ای جوانه‌زده سبب افزایش ویسکوزیته خمیری شدن، و بهبود بافت و کیفیت پخت نودل‌های مخلوط شد. مخلوط آرد گندم و آرد برنج قهوه‌ای جوانه‌زده تیمار شده با نسبت ۱ به ۱، ویسکوزیته خمیری شدن مشابه آرد گندم خالص نشان داد. همچنین نودل‌های حاوی آرد جوانه‌زده تیمار شده، افت پخت کمتر و سفتی و استحکام کششی بالاتری نسبت به مخلوط‌های حاوی نمونه تیمار نشده نشان دادند [۵۳]. ویدیا و همکاران (۲۰۱۳) دانه‌های برنج، سورگوم، ارزن انگشتی و مرواریدی را تحت فشار محیط به مدت ۲۰ دقیقه بخاردهی کردند و از آرد آن‌ها برای تهیه چاپاتی (نوعی نان هندی) استفاده نمودند. این محققین دریافتند که خمیرهای تهیه شده از برنج و ارزن انگشتی تیمار شده خصوصیات انسجام مطلوبی برای تهیه نان داشتند و از نظر بافت کاملاً به چاپاتی گندم نزدیک بودند. در مجموع، تیمار حرارتی دانه‌ها منجر به بهبود انسجام و یکپارچگی خمیر گردید[٥٤]. تحقیق دیگری در سال (۲۰۱٤) توسط چانگ و همکاران انجام شد. آن‌ها از آرد برنج سفید، برنج قهوه‌ای، برنج قهوه‌ای جوانه‌زده تیمارشده به عنوان جایگزین ۳۰ درصد آرد گندم در تهیه کوکی استفاده کردند. نتایج نشان داد تمامی نمونه‌ها به نیروی کمتری برای فشردن نسبت به کوکی‌های آرد گندم نیاز داشتند. کوکی‌های تهیه شده از آرد جوانه‌زده خصوصیات فیزیکی نامطلوبی نسبت به کوکی آرد گندم نشان دادند. در حالی‌که کوکی‌های حاوی آرد جوانه‌زده تیمارشده ویژگی‌های فیزیکی بهبود یافته با میزان رطوبت کمتر و گسترش‌پذیری بالاتری نسبت به کوکی‌های حاوی آرد جوانه‌زده تیمار نشده نشان دادند. همچنین کوکی‌های حاوی آرد جوانه‌زده تیمار شده، درجه سفت شدن نسبتا کمتری در طول نگهداری نشان دادند. نتایج کلی نشان داد می‌توان با جایگزینی جزئی یا کامل آرد گندم با آرد برنج قهوه‌ای جوانه‌زده تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی، کوکی‌هایی با کیفیت قابل پذیرش و ارزش تغذیه‌ای بهبود یافته تولید کرد[۵۵]. فتحی و همکاران (۲۰۱٦) تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن بر کیفیت کیک حاصل را بررسی کردند و دریافتند تیماردهی آرد موجب کاهش وزن مخصوص خمیر و سفتی کیک و همچنین افزایش قوام خمیر و حجم کیک گردید[٥٦]. کیم و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند استفاده از تیمار حرارتی-رطوبتی آرد برنج قهوه‌ای در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن موجب کاهش روشنایی و کاهش میزان سفتی بافت کیک حاصل گردید [۵۷].

۲-۳-۱-۳- اکستروژن

اکستروژن یک فرآیند اصلاح فیزیکی با دمای بالا و زمان کوتاه

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

می‌باشد که در آن آرد یا نشاسته در دمای بالا و در معرض نیروی برشی در رطوبت پایین قرار می‌گیرد. حرارت و برش در اکسترودر سبب ژلاتینه شدن نشاسته و در نتیجه افزایش جذب آب می‌گردد [۵۸]. اکستروژن یکی از مشهورترین تکنولوژی‌های فرآوری مواد غذایی است که به طور وسیعی برای محصولات غلات بکار می‌روند. این تیمار موجب شکستن زنجیره‌های آمیلوز و آمیلوپکتین (دکسترینه شدن)، دناتوراسیون پروتئین، تخریب جزئی یا کامل ساختار مولکولی نشاسته، تشکیل کمپلکس بین نشاسته و چربی و همچنین بین پروتئین و چربی، غیرفعال‌سازی و یا فعال‌سازی آنزیم و واکنش مایلارد می‌شود که میزان آن بستگی به شدت اکستروژن دارد [٤٤]. علاوه بر مزایای معمول خوراک تولیدی توسط فرآیناداکستروژن مانند مزه‌ی مطلوب، عدم تفکیک مواد تشکیل دهنده، تغذیهی راحت و کاهش ضایعات هنگام تغذیه، اکسترود در مقایسه با سایر فرآیند ها دارای مزایایی از جمله ژلاتینه شدن نشاسته و افزایش ظرفیت جذب آب و در نتیجه افزایش قابلیت هضم آن، تولید خوراکی متخلخل با بافتی نرم، تولید محصولاتی با شکل های مختلف با استفاده از قالب‌های خروجی مختلف، تخریب فاکتورهای ضدتغذیه‌ای، افزایش حلالیت فیبر های رژیمی و کاهش اکسید لیپید و میکروارگانیسم های آلوده کننده می باشد [۵۸]. برازنده و همکاران (١٣٩٤) در پژوهشی تاثیر فرآیند اکستروژن بر خواص فیزیکوشیمیایی اسنک حجیم شده بر پایه ذرت و ارزن را مورد بررسی قرار داد و دریافت استفاده از آرد ارزن در فرمولاسیون اسنک حجیم شده موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی محصول از جمله افزایش ظرفیت جذب آب، روشنایی، قدرت تورم، ظرفیت نگه‌داری آب و پذیرش کلی گردید. همچنین افزایش سرعت مارپیچ اکسترودر از ۱۲۰ به ۲۲۰ دور بر دقیقه موجب افزایش نسبت انبساط، ظرفیت نگه‌داری آب و پذیرش کلی گردید در حالی که افزایش درصد رطوبت از ۱۲ تا ۱۸ درصد باعث کاهش موارد ذکر شده گردید. بطور کلی میزان رطوبت ۱۲ درصد، سرعت مارپیچ ۲۲۰ دور بر دقیقه و میزان ۵۰ درصد آرد ارزن بهترین نتیجه را در پی داشت [۵۹]. فتحی (۱۳۹۵) اثر تیمار اکستروژن آرد ارزن بر کیفیت کیک بدون گلوتن را مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد با افزایش رطوبت اکستروژن، پارامترهای خمیری شدن آردهای اکسترود شده کاهش نشان داد و درجه ژلاتینه‌شدن آن‌ها افزایش یافت. در آردهای اکسترود شده شکل گرانول‌های نشاسته از بین رفته و قطعات بزرگ با شکل نامنظمی تشکیل شدند. همچنین افزودن آرد اکسترود شده به فرمولاسیون کیک موجب کاهش ثقل ویژه و افزایش قوام خمیر و کاهش سفتی بافت کیک و افزایش محتوی رطوبت مغز کیک شد [٦٠]. حسن‌پور و همکاران (١٣٩٦) تاثیر آرد سورگوم اکسترود شده و صمغ‌های زانتان و قدومه شهری در کوکی بدون گلوتن را مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج بدست آمده کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکسترود شده نسبت به کوکی‌های حاوی آرد خام، دارای سفتی کمتری داشتند. همچنین کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکسترود به همراه ۰/۳ درصد صمغ قدومه شهری بالاترین میزان گسترش پذیری، درصد تخلخل، و ضخامت پوسته را دارا بودند[٦١]. مارتیتز و همکاران (٢٠١٤) اظهار داشتند که جایگزینی ۱۰ درصد آرد برنج با آرد برنج اکسترود شده موجب افزایش قوام خمیر نان بدون گلوتن می‌گردد[٦٢]. جئونگ و همکاران (۲۰۱۳) با مطالعه بر اثر تیمار اکستروژن آرد برنج و استفاده از آن در کیک فاقد گلوتن دریافتند که استفاده از این تیمار باعث بهبود ویژگی‌های کیک و افزایش پذیرش حسی آن گردید [٦٣]. گومز و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که استفاده از آرد لوبیای اکسترود شده در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن موجب افزایش ظرفیت جذب آب، افزایش حلالیت در آب کیک و افزایش پذیرش حسی آن گردید [٦٤]. ژانگ و همکاران (٢٠١٦) آرد ذرت معمولی و با آمیلوز بالا را اکسترود کرده و دریافتند ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و هضم آرد ذرت به وضوح تحت تاثیر فرآیند اکستروژن قرار گرفته است [٦٥].

۲-۳-۱-٤-مایکروویو

امواج مایکروویو بخشی از طیف الکترومغناطیسی با طول موج کمتر از امواج رادیویی و بیشتر از امواج فروسرخ هستند که در بازه فرکانسی بین۳۰۰ مگاهرتز تا۳۰۰ گیگاهرتز قرار دارند. در یک آون مایکروویو، حرارت نتیجه‌ای از واکنش یک میدان مغناطیسی با ترکیبات شیمیایی موجود در ماده غذایی می‌باشد که این مسأله به دلیل اصطکاک مولکولی ایجاد حرارت داخلی می‌نماید. اجزای اصلی مواد غذایی (آب، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، پروتئین‌ها و مواد معدنی) با اشعه مایکروویو واکنش می‌دهند. مکانیسم اصلی حرارت‌دهی مایکروویو شامل پلاریزاسیون یونی و چرخش دوقطبی است. در موادغذایی

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

عمدتا مولکول‌های دوقطبی که مهمترین آن‌ها آب است، با مایکروویو واکنش می‌دهند و تولید گرما می‌کنند. پس از جذب انرژی مایکروویو و تبدیل آن به انرژی حرارتی، حرارت توسط فرآیندهای جابجایی و هدایت به تمام قسمتهای ماده غذایی منتقل می‌شود [٦٦]. مزیت مهم حرارت‌دهی با مایکروویو سرعت و کارایی بالا، کنترل دقیق‌تر حرارت در طی عملیات در مقایسه با روش‌های دیگر، زمان کوتاه و فرآیند مقادیر زیادی محصول در زمان کوتاه‌تر، بدون هیچ گونه اثر سوء بر مواد مغذی و سلامت انسان می‌باشد [٦٧]. تیمار مایکروویو سبب بهبود خصوصیات کاربردی مانند ظرفیت نگهداری آب، خاصیت امولسیفایری، ظرفیت کف کردن و شاخص حلالیت پروتئین می‌شود. امروزه ثابت شده است که تیمار حرارتی غلات با مایکروویو توانایی عملکرد نشاسته را برای ژلاتینه‌شدن افزایش و قدرت تورم آن را بهبود می‌بخشد [٦٨]. مهاجر خراسانی (١٣٩٧) دریافت که استفاده از آرد حاصل از دانه ارزن تیمار شده به روش مایکروویو در فرمولاسیون کیک موجب بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی کیک از جمله افزایش تخلخل، کاهش افت وزن، کاهش سفتی بافت کیک و افزایش محتوی رطوبت کیک طی ماندگاری، بدون استفاده از صمغ گردید [٦٩]. لواندوویکز و همکاران (٢٠٠٠) اثر اشعه مایکروویو بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ساختاری نشاسته غلات (گندم، ذرت و ذرت مومی) را مورد بررسی قرار دادند. دانه‌های غلات با رطوبت ٣٠ درصد توسط اشعه مایکروویو تیمار شدند. تیمار مایکروویو باعث تغییر محدوده ژلاتینه شدن به دماهای بالاتر و کاهش در حلالیت و بلورینگی آن‌ها شد. میزان این تغییرات به نوع نشاسته بستگی داشت. نشاسته‌های گندم و ذرت تحت تاثیر این تغییرات قرار گرفتند؛ در حالی‌که نشاسته ذرت مومی بدون تغییر بود. این محققان به این نتیجه رسیدند که حساسیت نشاسته‌های مختلف به تغییرات ناشی از مایکروویو، نه تنها به ساختار بلوری آن‌ها بلکه به محتوی آمیلوز آن‌ها نیز بستگی داشت [٧٠]. پینکروا و همکاران (٢٠٠٣) تغییرات نشاسته برنج طی تیمار مایکروویو را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند تیمار مایکروویو بر محتوی نشاسته کل برنج اثری نداشت اما محتوی نشاسته آسیب دیده با افزایش توان مایکروویو و دمای تیمار افزایش یافت [٧١]. اندرسون و گورایا (٢٠٠٥) تاثیر تیمار حرارتی مایکروویو را بر خصوصیات نشاسته برنج مومی و غیرمومی بررسی کردند. آن‌ها بیان کردند تیمار مایکروویو سبب تغییر خصوصیات فیزیکی انواع نشاسته شده است. تیمار مایکروویو به ترتیب سبب افزایش و کاهش شکست ویسکوزیته در نشاسته غیر مومی و مومی گردید. داده‌های بدست آمده نشان داد تجمع گرانول‌های نشاسته در نشاسته‌های مومی بعد از تیمار بیشتر از نشاسته‌های غیرمومی بود [٧٢]. زای و همکاران (٢٠١٣) تأثیر تیمار مایکروویو را بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی گرانول‌های نشاسته سیب‌زمینی را ارزیابی کردند و بیان کردند این تیمار سبب تخریب موفولوژی و ساختار کریستالی و همچنین تغییر ویژگی‌های رئولوژیکی نشاسته سیب زمینی شد [٧٣]. رومن و همکاران (٢٠١٥) اثر اشعه مایکروویو را بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد ذرت مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان کردند تیمار مایکروویو آرد ذرت موجب افزایش میزان گرانول‌های نشاسته متورم، افزایشپیک ویسکوزیته آرد گردید که به دلیل افزایش مقاومت به نیروی برش می‌باشد. به طور کلی آن‌ها بیان کردند که این تیمار موجب تغییر در ساختار کریستالی نشاسته و شکل‌گیری کمپلکس آمیلوز-لیپید شد و بر خصوصیات عملکردی آرد مانند رفتار خمیری آن تأثیرگذار بود [٧٤]. پیرز و همکاران (٢٠١٧) نشان دادند اثر پیش تیمار اشعه مایکروویو آرد برنج باعث بهبود برخی خصوصیات نان بدون گلوتن مانند افزایش حجم مخصوص نان و افزایش ارزش تغذیه ای و ویژگی‌های حسی گردید [٧٥].

٢-٣-١-٥-مادون قرمز

فرآیند حرارتی مادون قرمز نزدیک (NIR) یا میکرونیزاسیون یک فرآیند حرارتی با دمای بالا و زمان کوتاه می‌باشد. زمان که دانه یا آرد غلات تحت تاثیر اشعه مادون قرمز با فرکانس بالا قرار می‌گیرند، مولکول های تشکیل دهنده را به لرزش تحریک می کنند ، که منجر به اصطکاک بین مولکولی و در نتیجه گرم شدن سریع مواد می‌گردد [٧٦]. این فرآیند حرارتی باعث ایجاد برخی تغییرات مفید مانند ژلاتینه شدن نشاسته، غیرفعال کردن آنزیم ها و عوامل ضد تغذیه ای در دانه های فرآوری شده می‌شود. میکرونیزاسیون مزایایی نسبت به گرمایش معمولی دارد. یکی از این مزایا این است که اشعه مادون قرمز محصول را بطور مستقیم و بدون واسطه انتقال حرارت (مانند هوا) گرم می‌کند و موجب افزایش راندمان و کاهش زمان فرآیند می‌گردد. فرآوری حبوبات با روش میکرونیزاسیون موجب کاهش زمان پخت آن‌ها می‌گردد [٧٧]. دیپا و همکاران (٢٠١٣)

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

دریافتند استفاده از تیمار حرارتی مادون قرمز آرد ذرت موجب افزایش میزان نشاسته قابل هضم و غیرفعال‌سازی آنزیم پراکسیدازبه میزان ۹٦/۲-۹۲/۵ درصد بدون تاثیر بر پروتئین، کربوهیدرات و چربی، گردیدند. همچنین استفاده از این تیمار موجب غیرفعال‌سازی آنزیم لیپاز به میزان ٦۸/۲-٦٦/۹ درصد شد [۷۷]. زیلیک و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند استفاده از آرد فرآیند حرارتی مادون قرمز آرد ذرت موجب کاهش ترکیبات فنولی و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آرد ذرت گردید [۷٦]. اسوامیناتان و همکاران (۲۰۱۵) تاثیر استفاده از تیمار حرارتی مادون قرمز بر انبارمانی آرد سورگوم را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند تیمار مادون قرمز موجب غیرفعال‌سازی آنزیم لیپاز و کاهش میزان اسید چرب آزاد طی انبارمانی گردید و تیمار با دمای ۱۲۰ درجع سانتی‌گراد و زمان ۸/۵ دقیقه بیشترین تاثیر را بر غیرفعال‌سازی آنزیم لیپاز و در نتیجه افزایش انبارمانی آرد سورگوم داشت [۷۸]. دیپا و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند استفاده از فرآیند حرارتی مادون قرمز آرد ذرت موجب بهبود کیفیت پاستای تولید شده از آن‌ها در مقایسه با نمونه کنترل شد [۷۹].

Table 3 Modern Thermal Methods Used to Improve the Quality of Gluten-Free Products

Thermal methods	Results	Reference
Dry-heating		
The effect of heat treated pea flour on gluten free cake formulation based on rice flour	Reduced of tissue stiffnesa and Specific weight loss Increased the volume and porosity of the tissue	KarimiAbdulmaliki et al. (2016)
The effect of dry heat treatment of sorghum flour on the quality of gluten free cake and bread	Increased the viscosity of the dough Increased specific volume, porosity and overall acceptability	Mareston et al. (2016)
The effects of heat treatment process on the rheological properties of cake and bread	Increased viscosity and strength and firmness of dough	Bucsella et al. (2016)
Heat-moisture		
The Effect of Heat-Moisturized Raw and Treated Brown Rice on the Texture and Baking Quality of Noodles Containing Wheat Flour Mixture and Germinated Brown Rice	Reduced the stiffness and tensile strength of the noodles Increased baking and water absorption	Chung et al. (2011)
Use of Steamed Rice, Sorghum, Finger Millet and Pearl Seeds in Printed Formulation	Improved the consistency and integrity of the dough Improved texture	Vidya et al. (2013)
Use of white rice flour, brown rice, germinated brown rice as a substitute for wheat flour in cookie making	Reduced tissue stiffness, moisture Increased the spread factor	Chung et al. (2014)
The Effect of Heat-Moisture Treatment on Millet Cake Quality	Reduced the specific weight of the batter Increased the consistency of the batter Increased the softness and volume of the cake	Fathi et al. (2016)
Application of heat-moisture treatment of brown rice flour in gluten-free cake formulation	Decreased brightness and decreasing firmness of cake texture	Kim et al. (2017)
Effect of Heat-Moisture Treatment of Ordinary Millet Grain on Rice Millet and Cake Storage	Reduced baking loss Increased the texture, volume, porosity and moisture content of the cake during storage	Mohajerkhorasani (2019)
The Effect of Heat-Moisture Treatment of Common Millet Seed on Flour and Cookie Characteristics	Increased water storage capacity and decreased millet oil absorption capacity Reduced baking loss, water activity and cookie stiffness Increased the spread ability of the samples and darkened the color of the cookies	Karami et al. (2019)

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

Extrusion		
The effect of adding extruded rice flour on gluten-free cake	Improved volume and porosity Reduced texture hardness Increased sensory acceptance	Jeong et al. (2013)
Effect of replacement of rice flour with extruded rice flour on gluten-free bread formulation	Increased the consistency of bread dough Improved bread volume and porosity	Martinez et al. (2014)
Use of extruded bean flour in glutenfree cake formulations	Increased water absorption capacity and water solubility Increased sensory acceptance Increased degree of gelatinization	Gomez et al. (2015)
Effect of Millet Flour Extrusion on Gluten-Free Cake Quality	Reduced special gravity and increasing the consistency of the dough Decreased firmness and increasing moisture content of cake crumb	Fathi et al. (2016)
Effect of Extruded Sorghum Flour and Xanthan Gum and Almonds on Gluten-Free Cookies	Reduced cookie tissue stiffness Increased in expandability, porosity, and shell thickness	Hassanpoor et al. (2017)
Microwave		
Effect of microwave radiation on physicochemical and structural properties of cereal starch (wheat, maize and waxy maize)	Changed the gelatinization range to higher temperatures Decreased in their solubility and crystallinity	Lewandowicz et al. (2000)
Changes in rice starch during microwave treatment	Increased starch content by increased microwave temperature and power	Pinkrova et al. (2003)
Influence of microwave heat treatment on starch properties of waxy and non-waxy rice	Increased viscosity failure in non-waxy starch Reduced viscosity in waxy starch	Anderson et al. (2006)
Effect of microwave treatment on physicochemical properties of potato starch granules	Destruction of morphology and crystal structure Changed in the rheological properties of starch	Xie et al. (2013)
Effect of microwave radiation on physicochemical properties of corn flour	Increased the amount of swollen starch granules, increased the viscosity of flour Changed in starch crystal structure and formation of amylose-lipid complex	Roman et al. (2015)
The effect of microwave treatment of rice flour gluten-free bread	Increased the specific volume of bread Increased nutritional value and sensory characteristics	Perez et al. (2017)
Application of Microwave-Treated Millet Grain Flour in Cake Formulation	Increased porosity and cake moisture content during shelf life Reduced weight loss and firmness of cake texture	Mohajerkhorasani (2018)
Infrared		
Effect of infrared heat treatment on corn flour	Increased the amount of digestible starch Inactivation of peroxidase and lipase	Deepa et al. (2013)
Infrared Heat Process of Corn Flour	Decreased phenolic compounds Increased antioxidant capacity	Zilic et al. (2013)
The effect of infrared treatment on sorghum flour storage	Inactivated of lipase and decreased in free fatty acid content during storage	Swaminatan et al. (2015)
The effect of using infrared-treated corn flour on pasta quality	Increased stiffness Improved color and structure	Deepa et al. (2017)

۲-۳-۲-روش‌های غیر حرارتی

۲-۳-۲-۱- اندازه ذرات

اندازه ذرات آرد یکی از تیمارهای فیزیکی موثر در کیفیت محصول نهایی می‌باشد. اندازه ذرات آرد موجب بهبود

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

هیدراتاسیون و ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر و در نهایت ارتقاء کیفیت محصول نهایی می‌گردد [۸۰]. یکی از تیمارهای مربوط اندازه ذرات، میکرونیزاسیون (ساییدن نرم) و سپس جداسازی توسط هوا است. این تیمار شامل کاهش اجباری اندازه ذرات است که موجب تغییر ویژگی‌های عملکردی آرد شده و آن‌ها را برای فرآیندهای مختلف مناسب می‌سازد [۸۱]. در هر غله، اندازه ذرات بستگی به نوع غلات دارد و اندازه گرانول‌های نشاسته و عملکرد آن‌ها متفاوت خواهد بود. به طور کلی ، طبقه بندی آردهای بدون گلوتن بر اساس اندازه ذرات آنها و انتخاب مناسب آن‌ها برای هر فرآورده، می تواند موجب بهبود کیفیت محصولات بدون گلوتن مانند نان، کیک یا کلوچه گردد. مجذوبی و همکاران (۲۰۱۳) تاثیر اندازه ذرات آرد لوبیا بر کیفیت خمیر و کیک بدون گلوتن را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند کاهش اندازه ذرات سبوس برنج موجب افزایش حجم، کاهش سفتی و روشن‌تر شدن رنگ کیک می‌گردد. همچنین این پژوهشگران دریافتند استفاده از ۱۰ درصد سبوس برنج با اندازه ذرات ۱۲۵ میکرومتر کیک با بهترین کیفیت حاصل شد [۸۲]. کیم و شین (۲۰۱٤) تاثیر اندازه ذرات آرد برنج بر ویژگی‌های کیک بدون گلوتن را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند با کاهش اندازه ذرات آرد برنج میزان نشاسته آسیب دیده، ظرفیت اتصال آب و روشنایی آرد افزایش یافت. همچنین با کاهش اندازه ذرات آرد ویسکوزیته خمیر و حجم و تخلخل کیک افزایش و میزان سفتی بافت کیک کاهش یافت [۸۳]. تراپی و همکاران (۲۰۱٤) استفاده از آرد سورگوم با اندازه ذرات کوچکتر در فرمولاسیون نان بدون گلوتن موجب افزایش حجم،تخلخل، جذب آب و کاهش سفتی بافت نان گردید [۸٤]. بلوریو و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند استفاده از آرد ذرت با ذرات کوچکتر موجب افزایش جذب آب، حجم، افزایش سفتی و کاهش فاکتور گسترش پذیری بافت کوکی بدون گلوتن گردید [۸۵].

۲-۳-۲-۲-پلاسمای سرد

پلاسما ، که اغلب به عنوان حالت چهارم ماده از آن یاد می‌شود، مجموعه ای از یون های باردار ، الکترون ها ، اتم های گازی خنثی و مولکول ها در حالت پایه یا برانگیخته خود با بار خنثی است. پلاسما می‌تواند به دو گروه پلاسمای حرارتی و پلاسمای سرد طبقه‌بندی شود. در پلاسمای حرارتی تمام ترکیبات در حالت تعادل ترمودینامیکی قرار دارند. اما زمانی که پلاسما در شرایط فشار اتمسفر و دمای معمولی یا دمای پایین انجام می‌شود به آن پلاسمای سرد گفته می‌شود [۸٦]. بسته به شرایط، پلاسمای سرد می‌تواند در فشار بالا، فشار معمولی و پایین انجام گیرد. اگر پلاسما در فشار عادی اتمسفر انجام شود، هزینه مربوط به اتاق های واکنش شدید برای حفظ فشار را ندارد [۸۷]. پلاسمای سرد در صنایع غذایی کاربردهای مختلفی از جمله افزایش ماندگاری، افزایش نرخ جوانه‌زنی، کاهش زمان فرآیند پخت، تغییرات نشاسته، غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها و میکروب‌ها و... دارد [۸۸]. در مورد کاربرد پلاسما در فرآورده‌های بدون گلوتن، پژوهش‌هایی بر ویژگی‌های غلات بدون گلوتن صورت گرفته است. لی و همکاران (۲۰۱٦) تاثیر تیمار پلاسمای سرد بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی دانه برنج قهوه‌ای را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند دانه‌های تیمار دانه‌ها با این روش موجب کاهش بارمیکروبی دانه‌ها، افزایش فعالیت آمیلوز و نرخ جذب آب دانه‌ها گردید [۸۹]. سارنگاپانی و همکاران (۲۰۱٦) گزارش کردند تیمار آرد برنج نیم‌پز شده به روش پلاسمای سرد موجب بهبود خواص هیدراتاسیون و افزایش دمای ژلاتینه شدن به دلیل به دلیل تاثیر بر ساختار گرانول‌های نشاسته شده است [۹۰]. تیرومداس و همکاران (۲۰۱۷) پژوهشی بر تاثیر پلاسمای سرد بر نشاسته برنج انجام شد و دریافتند استفاده از این تیمار موجب افزایش نشت آمیلوز و ویسکوزیته پایانی آن گردید اما دمای ژلاتینه شدن نشاسته کاهش یافت [۹۱].

۲-۳-۲-۳- فشار بالا

فشار بالا و فراصوت از جمله تیمارهای غیرحرارتی است که اخیرا در صنعت پخت محصولات بدون گلوتن مورد توجه قرار گرفته‌اند.فرآیند فشار هیدرواستاتیک بالا یک فرآیند غیر حرارتی است که در آن مواد غذایی جامد یا مایع، در دمای معمولا پایین در معرض فشار بالا ، عموما در گستره ۱۰۰تا ۸۰۰ مگا پاسکال قرار می گیرند . تیمار فشار بالا می‌تواند با تغییر در ساختار پروتئین و نشاسته، امکان تولید موادغذایی با بافت جدید را فراهم آورد. بنابراین این تیمار می‌تواند یک روش مناسبی برای بهبود محصولات پختی بدون گلوتن باشد. حساسیت ساختار پروتئین به فشاربالا می‌تواند به دلیل تضعیف برهمکنش‌های الکترواستاتیک و هیدروفوبیک و همچنین تغییر واکنش‌های تیول-دی سولفید می‌باشد [۹۲]. والونز و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی دیگر بیان کردند استفاده از آرد سورگوم

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

تیمارشده توسط فشار بالا در فرمولاسیون نان بدون گلوتن موجب تاخیر در بیاتی آن شده است [۹۳]. هاتنر و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر تیمار فشار بالا بر عملکرد نان تهیه شده از یولاف را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور خمیر تهیه شده از یولاف را در فشار ۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ مگاپاسکال تیمار و با نسبت‌های ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد به نان افزودند و گزارش کردند افزودن ۱۰ درصد خمیر تیمار شده در ۲۰۰ مگاپاسکال، حجم نان حاصل را بهبود بخشید و همچنین تمام نان‌های تولید شده از خمیر تیمار شده در ۲۰۰ مگاپاسکال موجب کاهش روند بیاتی گردید. در حالی‌که تیمار ۳۰۰ مگاپاسکال و بالاتر از آن موجب تخریب بافت نان تولید شده گردید [۹۴]. والونز و همکاران (۲۰۱۱) با مطالعه بر تاثیر تیمار فشار بالا بر آردهای بدون گلوتن دریافتند که این تیمار می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های عملکردی این آردها گردد [۹۵].

Table 4 Modern non-thermal methods used to improve the quality of gluten-free products

Non-thermal treatments	Results	Reference
Particle size		
Influence of particle size of bean flour on quality of gluten-free batter and cake	With reducing the size of rice bran particles: Increased the volume, reduced the firmness and make the cake more refined	Majzoobi et al. (2013)
Influence of particle size of rice flour on gluten free cake characteristics	With reducing the particle size of rice flour: Increased amount of damaged starch, water binding capacity and flour brightness Increased the dough viscosity and volume and porosity of the cake Reduced the firmness of the cake texture	Kim and Shin (2014)
Use of sorghum flour with smaller particle size in gluten-free bread formulations	Increased volume, porosity and water absorption Reduced the firmness of bread texture	Trappey et al. (2014)
Use of corn flour with smaller particles in gluten-free cookie formulation	Increased water absorption, volume and firmness of cookie tissue Decreased expandability factor of cookie	Belorio et al. (2019)
Cold plasma		
The effect of cold plasma treatment on physicochemical and microbial properties of brown rice grain	Reduced the germicidal barrier Increased amylose activity and water absorption rate of grains	Lee et al. (2016)
Treatment of semi-cooked rice flour by cold plasma method	Improved the hydration properties Increased gelatinization temperature	Sarangapani et al. (2016)
The effect of cold plasma on rice starch	Increased amylose leakage and terminal viscosity Reduced the gelatinization temperature of starch	Thirumdas et al. (2017)
High-pressure		
Application of high pressure treated sorghum flour in gluten-free bread formulation	Improved quality Decreased the staling	Vallons et al. (2010)
Influence of High Pressure Treatment on Yield of Oat Bread	Increased the volume and improve the texture of bread Decreased the staling	Hüttner et al. (2010)
The effect of high pressure treatment on different gluten-free flours	Improved functional features such as water absorption	Vallons et al. (2011)

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

۳- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش جمعیت بیماران سلیاکی در سراسر جهان، تولید محصولات بدون گلوتن با کیفیت بالا یکی از چالش‌های مهم موجود در صنعت محصولات بدون گلوتن است. محصولات بدون گلوتن به دلیل فقدان پروتئین گلوتن که نقش مهمی در ایجاد ساختار منسجم و کیفیت محصولات نانوایی دارد، دارای بافت و طعم ضعیفی است. روش‌های مختلفی برای ارتقاء کیفیت این محصولات وجود دارد. استفاده از صمغ‌ها و پروتئین‌ها از متداول‌ترین روش‌هایی است که از گذشته برای افزایش کیفیت محصولات بدون گلوتن مورد استفاده قرار گرفته است. هیدروکلوئیدها به دلیل خصوصیت آن‌ها در تثبیت بافت و پروتئین‌ها به دلیل دارا بودن خاصیت امولسیفایری می‌توانند به عنوان جایگزین گلوتن در پخت محصولات بدون گلوتن استفاده شوند. همچنین روش‌های بیوتکنولوژیکی مانند استفاده از آنزیم‌ها و خمیر ترش نیز به منظور بهبود کیفیت محصولات بدون گلوتن مورد استفاده قرار گرفته می‌گیرند. آنزیم‌ها در فرآورده‌های فاقد گلوتن از طریق هیدرولیز، اکسیداسیون و یا اتصالات عرضی پروتئین‌ها سبب بهبود خواص رئولوژی مرتبط با فرآورده و افزایش کیفیت پخت نهایی محصول می‌شود. خمیر ترش نیز به دلیل شکستن پروتئین‌های غیرگلوتنی و ترکیبات نشاسته‌ای توسط باکتری‌های اسید لاکتیک موجب افزایش الاستیسیته خمیر می‌گردد. در راستای افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات بدون افزودنی، در سال‌های اخیر از تیمار فیزیکی دانه یا آرد به منظور تغییر خصوصیات عملکردی آرد و استفاده آن در فرمولاسیون فرآورده‌های بدون گلوتن به منظور بهبود کیفیت محصولات بدون گلوتن استفاده شد. تیمارهای فیزیکی شامل تیمارهای حرارتی و غیر حرارتی هستند که می‌توانند موجب اصلاح گرانول‌های نشاسته، غیرطبیعی شدن پروتئین‌ها، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، کاهش بار میکروبی و حتی بهبود طعم و آروما شده و آرد را برای استفاده در تولید محصولات بدون گلوتن مناسب سازد. پیشرفت در محصولات بدون گلوتن همچنان ادامه دارد و با توجه به اهمیت محصولات بدون گلوتن در بهبود سلامت بیماران سلیاکی، امید بر آن است که پژوهشگران با استفاده از این پژوهش‌های نوین، بتوانند محصولات متنوع و با کیفیت بالا به این بیماران ارائه داد.

٤- منابع

[1] Blades, M. (1997). Food allergies and intolerances: an update. *Nutrition & Food Science*, *97*(4), 146-151.

[2] Sollid, L. M. (2002). Coeliac disease: dissecting a complex inflammatory disorder. *Nature Reviews Immunology*, *2*(9), 647-657

[3] Fasano, A., Catassi, C. (2008). Celiac disease. *New England Journal of Medicine*, 367(25), 2419-2426.

[4] Ferguson, A., Gillett, H., Humphreys, K., & Kingstone, K. (1998). Heterogeneity of celiac disease: clinical, pathological, immunological, and genetic. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *859*(1), 112-120.

[5] Delcour, J. A., &Hoseney, R. C. (2010). Principles of Cereal Science and Technology. Third Edition. AACCI press. St. Paul, Minnesota.

[6] Gallagher, E., Gormley, T.R., & Arendt, E.K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science and Technology*, 15(3), 143–152.

[7] Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., &Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, *79*(3), 1033-1047.

[8] Houben, A., Höchstötter, A., & Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *European Food Research and Technology*, *235*(2), 195-208.

[9] Taylor, J. R., &Emmambux, M. N. (2008). Gluten-free foods and beverages from millets. In *Gluten-free cereal products and beverages* (pp. 119-V). Academic Press.

[10] Padalino, L., Conte, A., & Del Nobile, M. (2016). Overview on the general approaches to improve gluten-free pasta and bread. *Foods*, *5*(4), 87.

[11] Anton, A. (2008). Improving the nutritional and textural properties of wheat flour tortillas. *Cereal research communications*, *36*(2), 301-311.

[12] Naghipour, F., HabibiNajafi, MB, Karimi, M., Haddad Khodparast, M.H., Sheikholeslami, Z. And the deserters, b. 2013. Investigation of gluten free cake production using sorghum flour and guar and xanthan gums. Journal of Food Science and

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

221-230.
[21] Sufian, A., Alami, M., SadeghiMahonak, AR, Ghorbani, M., Ziaiefar, A. M. 2013. Production of gluten free sponge cake and sponge cake using sweet almond meal. Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology, 3(2), 196-185 [in Persian].
[22] Abbaszadeh, F., Alami, M., SadeghiMahonak, A., and KashaniNejad, M.2017. Effect of sweet almond protein concentrate and xanthan gum on physicochemical and tissue properties of rice dough and cake. Journal of Modern Food Technologies, 4(15), 108-87 [in Persian].
[23] Talebi, H., and Giafehdavoodi, M.2017. Improving the physicochemical, tissue and sensory properties of gluten-free sponge cake using ultrasonic and soy protein isolates. Iranian Food Science and Technology. 14(69), 195-204 [in Persian].
[24] Jyotsna, R., Soumya, C., Swati, S., &Prabhasankar, P. (2016). Rheology, texture, quality characteristics and immunochemical validation of millet based gluten free muffins. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *10*(4), 762-772.
[25] Yıldız, E., Şumnu, S. G., &Şahin, S. (2018). Effects of buckwheat flour, gums and proteins on rheological properties of gluten-free batters and structure of cakes. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, *10*(3), 245-254.
[26] Giri, N. A., &Sakhale, B. K. (2019). Development of sweet potato flour based high protein and low calorie gluten free cookies. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, *7*(2), 427-435.
[27] Rosell, C. M. (2009). Enzymatic manipulation of gluten-free breads. *Gluten-free Food Science and Technology*, 83-98.
[28] Mehrabanshandi, AS. 2012. Investigation of physicochemical properties of gluten free sponge cake and sponge cake. Master thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources [in Persian].
[29] Moore, M. M., Heinbockel, M., Dockery, P., Ulmer, H. M., & Arendt, E. K. (2006). Network formation in gluten‐free bread with application of transglutaminase. Cereal chemistry, 83(1), 28-36.
[30] Kawamura-Konishi, Y., Shoda, K., Koga, H., & Honda, Y. (2013). Improvement in gluten-free rice bread quality by protease treatment. *Journal of cereal science*, *58*(1),
Technology, Volume 10, Number 4, 139-127 [in Persian].
[13] Khatami. E., Aalami, M., Maghsoudlou, Y and Kadivar, M. 2015. Application of rice and sorghum flour in the formulation of gluten free cake. A thesis of M.Sc. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources [in Persian].
[14] Sumnu, G., Koksel, F., Sahin, S., Basman, A., &Meda, V. (2010). The effects of xanthan and guar gums on staling of gluten‐free rice cakes baked in different ovens. International Journal of Food Science *& Technology*, *45*(1), 87-93.
[15] Preichardt, L. D., Vendruscolo, C. T., Gularte, M. A., & Moreira, A. D. S. (2011). The role of xanthan gum in the quality of gluten free cakes: improved bakery products for coeliac patients. *International Journal of Food Science & Technology*, *46*(12), 2591-2597.
[16] Hojjatoleslami, M., and Azizi, M. H. (2015). Impact of tragacanth and xanthan gums on the physical and textural characteristics of gluten-free cake. *Nutrition and Food Sciences Research*, *2*(2), *29-37*.
[17] Herranz, B., Canet, W., Jiménez, M. J., Fuentes, R., & Alvarez, M. D. (2016). Characterisation of chickpea flour‐based gluten‐free batters and muffins with added biopolymers: rheological, physical and sensory properties. *International Journal of Food Science & Technology*, *51*(5), 1087-1098.
[18] Gül, H., Hayit, F., Acun, S., &Tekeli, S. G. (2018). Improvement of Quality Characteristics of Gluten-Free Cookies with the Addition of Xanthan Gum. In *"Agriculture for Life, Life for Agriculture" Conference Proceedings* (Vol. 1, No. 1, pp. 529-535). Sciendo.
[19] Vidaurre-Ruiz, J., Matheus-Diaz, S., Salas-Valerio, F., Barraza-Jauregui, G., Schoenlechner, R., & Repo-Carrasco-Valencia, R. (2019). Influence of tara gum and xanthan gum on rheological and textural properties of starch-based gluten-free dough and bread. *European Food Research and Technology*, 1-9.
[20] Ghasemi, A., Khandan, M. S. B., &Ardakani, S. A. Y. (2017). The effect of Persian gums and Tragacanth on texture and sensory characteristics of non-gluten cakes. *Journal of Nutrition and Food Security*, *2*(3),

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

Zannini, E., Furey, A., Coffey, A., & Arendt, E. K. (2015). Application of Lactobacillus amylovorus DSM19280 in gluten-free sourdough bread to improve the microbial shelf life. *Food Microbiology*, *47*, 36-44.

[42] Cappa, C., Lucisano, M., Raineri, A., Fongaro, L., Foschino, R., &Mariotti, M. (2016). Gluten-free bread: Influence of sourdough and compressed yeast on proofing and baking properties. *Foods*, *5*(4), 69.

[43] Bender, D., Fraberger, V., Szepasvári, P., D'Amico, S., Tömösközi, S., Cavazzi, G., ... &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.

[44] Gómez, M., &Martínez, M. M. 2016. Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. *Journal of Cereal Science*, *67*, 68-74.

[45] Sun, Q., Han, Z., Wang, L., &Xiong, L. (2014). Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. *Food Chemistry*, *145*, 756-764.

[46] Marston, K., Khouryieh, H., &Aramouni, F. (2016). Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. *LWT-Food Science and Technology*, *65*, 637-644.

[47] Russo, J. V., & Doe, C. A. (1970). Heat treatment of flour as an alternative to chlorination. *International Journal of Food Science & Technology*, *5*(4), 363-374.

[48] KarimiAbdulmaliki, n. 2016. Effect of heat treatment of chickpea flour on the qualitative properties of gluten free cake based on rice flour. Master thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

[49] Bucsella, B., Takács, Á., Vizer, V., Schwendener, U., &Tömösközi, S. (2016). Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours. *Food Chemistry*, *190*, 990-996.

[50] Zavareze, E.R. ,& Dias, A. R. G. (2011). Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, *83*(2), 317-328.

[51] MohajerKhorasani, S. Alami, M. Kashaninegad, M. ShahiriTabarestani, H. 2019. Comparison of the effect of heat-45-50.

[31] Saeidi, Z., Nasehi, B., &Jooyandeh, H. (2018). Optimization of gluten-free cake formulation enriched with pomegranate seed powder and transglutaminase enzyme. *Journal of food science and technology*, *55*(8), 3110-3118.

[32] Romano, A., Masi, P., Bracciale, A., Aiello, A., Nicolai, M. A., & Ferranti, P. (2018). Effect of added enzymes and quinoa flour on dough characteristics and sensory quality of a gluten-free bakery product. *European Food Research and Technology*, *244*(9), 1595-1604.

[33] Hammes, W. P., &Gänzle, M. G. (1998). Sourdough breads and related products. In *Microbiology of fermented foods* (pp. 199-216). Springer, Boston, MA.

[34] Nionelli, L., &Rizzello, C. G. (2016). Sourdough-based biotechnologies for the production of gluten-free foods. *Foods*, *5*(3), 65.

[35] Corsetti, A., Gobbetti, M., De Marco, B., Balestrieri, F., Paoletti, F., Russi, L., & Rossi, J. (2000). Combined effect of sourdough lactic acid bacteria and additives on bread firmness and staling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *48*(7), 3044-3051.

[36] Gänzle, M. G., Vermeulen, N., & Vogel, R. F. (2007). Carbohydrate, peptide and lipid metabolism of lactic acid bacteria in sourdough. *Food microbiology*, *24*(2), 128-138.

[37] Katina, K., Arendt, E., Liukkonen, K. H., Autio, K., Flander, L., &Poutanen, K. (2005). Potential of sourdough for healthier cereal products. *Trends in Food Science & Technology*, *16*(1-3), 104-112.

[38] Thompson, J. M., Waites, W. M., & Dodd, C. E. R. (1998). Detection of rope spoilage in bread caused by Bacillus species. *Journal of Applied Microbiology*, *85*(3), 481-486.

[39] Houben, A., Götz, H., Mitzscherling, M., & Becker, T. (2010). Modification of the rheological behavior of amaranth (Amaranthushypochondriacus) dough. *Journal of Cereal Science*, *51*(3), 350-356.

[40] Moroni, A. V., Arendt, E. K., & Dal Bello, F. (2011). Biodiversity of lactic acid bacteria and yeasts in spontaneously-fermented buckwheat and teff sourdoughs. *Food Microbiology*, *28*(3), 497-502.

[41] Axel, C., Röcker, B., Brosnan, B.,

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

Ph.D. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources [in Persian].

[61] Hasanpoor, N., Koochaki, A., Mohebbi, M., Millani,. E. 2016. The Effect of Extruded Sorghum Flour and Hydrocolloids on the Physical and Chemical Properties of Gluten-free Cookie. Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology, 6(4), 375-388.

[62] Martínez, M. M., Calviño, A., Rosell, C. M., & Gómez, M. (2014). Effect of different extrusion treatments and particle size distribution on the physicochemical properties of rice flour. *Food and Bioprocess Technology*, *7*(9), 2657-2665.

[63]Jeong, S., Kang, W. S., & Shin, M. (2013). Improvement of the quality of gluten-free rice pound cake using extruded rice flour. *Food Science and Biotechnology*, *22*(1), 173-180.

[64] Gomes, L. D. O. F., Santiago, R. D. A. C., Carvalho, A. V., Carvalho, R. N., Oliveira, I. G. D., &Bassinello, P. Z. (2015). Application of extruded broken bean flour for formulation of gluten-free cake blends. *Food Science and Technology*, *35*(2), 307-313.

[65] Zhang, X., Chen, Y., Zhang, R., Zhong, Y., Luo, Y., Xu, S., ... &Guo, D. (2016). Effects of extrusion treatment on physicochemical properties and in vitro digestion of pregelatinized high amylose maize flour. *Journal of Cereal Science*, *68*, 108-115.

[66] Schubert, H., &Regier, M. (Eds.). (2005). *The Microwave Processing of Foods*. Taylor & Francis US.

[67] Sultana, B., Anwar, F., & Iqbal, S. (2008). Effect of different cooking methods on the antioxidant activity of some vegetables from Pakistan. *International Journal of Food Science & Technology*, *43*(3), 560-567.

[68] Ashraf, S., Saeed, S. M. G., Sayeed, S. A., & Ali, R. (2012). Impact of microwave treatment on the functionality of cereals and legumes. *International Journal of Agriculture and Biology*, *14*(3).

[69] MohajerKhorasani, S. 2018. Effect of heat-moisture and microwave treatments on Proso millet grain and evaluation of physicochemical and sensory properties of flour, batter and gluten free cake. Master thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources [in Persian].

[70] Lewandowicz, G., Jankowski, T., moisture treatment of millet grain and addition of xanthan gum on the characteristics of the batter and physicochemical and sensory properties of gluten-free cake. Journal of Food Science and Technology. 90(16), 229-244 [in Persian].

[52] Karami, F. Ahami M, SadeghiMahoonak A, Shahiritabarestani H. 2019. Effect of heat-moisture treatment of proso millet grain on physicochemical properties of flour and produced cookies. Journal of Food Science and Technology; 16 (88) :185-200.

[53] Chung, H. J., Cho, A., & Lim, S. T. (2012). Effect of heat-moisture treatment for utilization of germinated brown rice in wheat noodle. *LWT-Food Science and Technology*, *47*(2), 342-347.

[54] Vidya, S., Ravi, R., & Bhattacharya, S. (2013). Effect of thermal treatment on selected cereals and millets flour doughs and their baking quality. *Food and Bioprocess Technology*, *6*(5), 1218-1227.

[55] Chung, H. J., Cho, A., & Lim, S. T. (2014). Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. *LWT-Food Science and Technology*, *57*(1), 260-266.

[56] Fathi, B., Aalami, M., Kashaninejad, M. and SadeghiMahoonak, A. (2016). Utilization of Heat‐Moisture Treated Proso Millet Flour in Production of Gluten‐Free Pound Cake. Journal of Food Quality, 39: 611-619.

[57] Kim, M. J., Oh, S. G., & Chung, H. J. (2017). Impact of heat-moisture treatment applied to brown rice flour on the quality and digestibility characteristics of Korean rice cake. *Food Science and Biotechnology*, *26*(6), 1579-1586.

[58] Wang, H., Johnson, L. A., & Wang, T. (2004). Preparation of soy protein concentrate and isolate from extruded-expelled soybean meals. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *81*(7), 713-717.

[59]Barazandeh, M. 2015. Effect of extrusion process on physicochemical properties of extruded expanded snacks based on corn and millet. Master thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources [In persian].

[60] Fathi, b. 2016. Effect of heat-moisture and extrusion treatments on physicochemical properties of millet flour, pulp and cake.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

Fractionation and Jet Milling. *Food and Bioprocess Technology,* 10**,** 831-841.
[81] Létang, C., Samson, M. F., Lasserre, T. M., Chaurand, M. &Abecassis, J. (2002). Production of starch with very low protein content from soft and hard wheat flours by jet milling and air classification. *Cereal Chemistry,* 79**,** 535-543.
[82] Majzoobi, M., Imani, B., Sharifi, S., &Farahnaky, A. (2018). The effect of particle size and level of rice bran on the batter and sponge cake properties.
[83] Kim, J. M., & Shin, M. (2014). Effects of particle size distributions of rice flour on the quality of gluten-free rice cupcakes. *LWT-Food Science and Technology*, *59*(1), 526-532.
[84] Trappey, E. F., Khouryieh, H., Aramouni, F., & Herald, T. (2015). Effect of sorghum flour composition and particle size on quality properties of gluten-free bread. *Food Science and Technology International*, *21*(3), 188-202.
[85] Belorio, M., Sahagún, M., & Gómez, M. (2019). Influence of Flour Particle Size Distribution on the Quality of Maize Gluten-Free Cookies. *Foods*, *8*(2), 83.
[86] Pal, P., Kaur, P., Singh, N., Kaur, A., Misra, N. N., Tiwari, B. K., ... &Virdi, A. S. (2016). Effect of nonthermal plasma on physico-chemical, amino acid composition, pasting and protein characteristics of short and long grain rice flour. *Food Research International*, *81*, 50-57.
[87] Pankaj, S. K., Wan, Z., & Keener, K. M. (2018). Effects of cold plasma on food quality: A review. *Foods*, *7*(1), 4.
[88] Thirumdas, R., Sarangapani, C. &Annapure, U. S. (2015). Cold plasma: a novel non-thermal technology for food processing. *Food Biophysics,* 10**,** 1-11.
[89] Lee, K. H., Kim, H. J., Woo, K. S., Jo, C., Kim, J. K., Kim, S. H., ... & Kim, W. H. (2016). Evaluation of cold plasma treatments for improved microbial and physicochemical qualities of brown rice. *LWT*, *73*, 442-447.
[90] Sarangapani, C., Thirumdas, R., Devi, Y., Trimukhe, A., Deshmukh, R. R. &Annapure, U. S. (2016). Effect of low-pressure plasma on physico–chemical and functional properties of parboiled rice flour. *LWT-Food Science and Technology,* 69**,** 482-489.
[91] Thirumdas, R., Trimukhe, A., Deshmukh, R. &Annapure, U. (2017). Functional and rheological properties of cold plasma treated &Fornal, J. (2000). Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches. *Carbohydrate Polymers*, *42*(2), 193-199.
[71] Pinkrova, J., Hubackova, B., Kadlec, P., Prihoda, J., &Bubnik, Z. (2003). Changes of starch during microwave treatment of rice. *Czech Journal of Food Sciences-UZPI (Czech Republic)*.
[72] Anderson, A. K., &Guraya, H. S. (2006). Effects of microwave heat-moisture treatment on properties of waxy and non-waxy rice starches. *Food Chemistry*, *97*(2), 318-323.
[73] Xie, Y., Yan, M., Yuan, S., Sun, S., &Huo, Q. (2013). Effect of microwave treatment on the physicochemical properties of potato starch granules. *Chemistry Central Journal*, *7*(1), 113.
[74] Román, L., Martínez, M. M., Rosell, C. M., & Gómez, M. (2015). Effect of microwave treatment on physicochemical properties of maize flour. *Food and Bioprocess Technology*, *8*(6), 1330-1335.
[75] Pérez-Quirce, S., Ronda, F., Lazaridou, A., &Biliaderis, C. G. (2017). Effect of microwave radiation pretreatment of rice flour on gluten-free breadmaking and molecular size of β-glucans in the fortified breads. *Food and Bioprocess Technology*, *10*(8), 1412-1421.
[76] Žilić, S., Mogol, B. A., Akıllıoğlu, G., Serpen, A., Babić, M., &Gökmen, V. (2013). Effects of infrared heating on phenolic compounds and Maillard reaction products in maize flour. *Journal of cereal science*, *58*(1), 1-7.
[77] Deepa, C., &Hebbar, H. U. (2014). Micronization of maize flour: Process optimization and product quality. *Journal of cereal science*, *60*(3), 569-575.
[78] Swaminathan, I., Guha, M., Hunglur, U. H., & Rao, D. B. (2015). Optimization of infrared heating conditions of sorghum flour using central composite design. *Food science and biotechnology*, *24*(5), 1667-1671.
[79] Deepa, C., Sarabhai, S., Prabhasankar, P., &Hebbar, H. U. (2017). Effect of micronization of maize on quality characteristics of pasta. *Cereal chemistry*, *94*(5), 840-846.
[80] Tsatsaragkou, K., Kara, T., Ritzoulis, C., Mandala, I. &Rosell, C. M. (2017). Improving Carob Flour Performance for Making Gluten-Free Breads by Particle Size

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

rice starch. *Carbohydrate polymers,* 157**,** 1723-1731.

[92] Vallons, K. J., & Arendt, E. K. (2009). Effects of high pressure and temperature on buckwheat starch characteristics. *European Food Research and Technology*, *230*(2), 343-351.

[93] Vallons, K. J., Ryan, L. A., Koehler, P., & Arendt, E. K. (2010). High pressure–treated sorghum flour as a functional ingredient in the production of sorghum bread. *European Food Research and Technology*, *231*(5), 711-717.

[94] Hüttner, E. K., Dal Bello, F., & Arendt, E. K. (2010). Fundamental study on the effect of hydrostatic pressure treatment on the bread-making performance of oat flour. *European Food Research and Technology*, *230*(6), 827-835.

[95] Vallons, K. J., Ryan, L. A., & Arendt, E. K. (2011). Promoting structure formation by high pressure in gluten-free flours. *LWT-Food Science and Technology*, *44*(7), 1672-1680.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]

A review on conventional and emerging process technologies for quality improvement of gluten-free products

Mohajer khorasani, S. [1], Aalami, M. [2*]

1. MSc graduated of Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
2. Associate Professor of Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

(Received: 2019/10/25 Accepted:2019/12/15)

Today, with the increasing population of celiac patients worldwide, producing and improving the quality of gluten-free products for celiac patients is one of the major challenges in the food industry. Celiac disease is a type of autoimmune gastrointestinal disease caused by intolerance to gluten protein and currently, the only way to treat it is to use a gluten-free diet. Removing gluten from bakery product formulations is accompanied by serious technological problems in product production that ultimately results in poor quality, poor mouthfeel and taste in the product. Therefore, due to the importance of this protein in creating a suitable texture and appearance of the product, finding a suitable alternative to gluten or technologies capable of compensating gluten in the formulation is always one of the biggest technological challenges in producing gluten free products. So, researchers and producers are trying to find a suitable processing method to promote gluten-free products and produce products of similar quality to wheat flour products. The aim of this study was to review different process technologies to improve the quality of gluten-free products. These process technologies include the use of conventional methods such as gums and proteins, biotechnological methods such as application of enzymes and sourdough and emerging technologies including thermal and non-thermal treatments in producing gluten-free products.

Key words: Celiac, Emerging technologies, Gluten-free products, Quality improvement

* Corresponding Author E-Mail Address: mehranalami@gmail.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-18]