علمی پژوهشی

استخراج پنتوزان‌ها از سبوس گندم با استفاده از روش‌های متداول و ترکیبی

مینا امامیان[۱]، محسن رادی[۲،۳]، صدیقه امیری[۲،۳]، حمیدرضا اخوان[۴*]

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
٤- دانشیار بخش علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۱٤ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۷)

چکیده

سبوس، محصول جانبی فرایند آسیاب گندم، دارای ترکیبات مختلف از جمله پنتوزان‌ها می‌باشد که این ترکیب می‌تواند برای افزایش خواص سلامت‌بخش و عملکردی محصولات غذایی کاربردهای صنعتی پیدا کند. در این تحقیق ابتدا بازدهی استخراج پنتوزان از سبوس گندم با استفاده از آب داغ ۸۰ درجه سلسیوس، هیدروکسید سدیم ۰/۰۱ میلی‌مولار و پراکسید هیدروژن قلیایی ۲ درصد به عنوان روش‌های مرسوم استخراج بررسی گردید. سپس، تاثیر پیش‌تیمارهایی از قبیل آنزیم سلولاز، فراصوت، اتوکلاو و مایکروویو در حضور هیدروکسید سدیم و آب بر افزایش بازدهی استخراج مطالعه شد. در نهایت به منظور افزایش بازده استخراج پنتوزان‌ها، تیمارهای مراحل قبل با بالاترین درجه استخراج (فراصوت، آنزیم سلولاز، آب داغ، هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن) به صورت تیمارهای ترکیبی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که خلوص پنتوزان‌های استخراج شده با هیدروکسید سدیم به صورت معنی‌داری بیشتر از آب داغ و پراکسید هیدروژن بود ($p< 0.05$). همچنین، از میان پیش‌تیمارهای آنزیم سلولاز، امواج فراصوت، اتوکلاو و مایکروویو در حضور آب یا هیدروکسید سدیم، بیشترین میزان بازده استخراج پنتوزان‌ها به ترتیب در تیمار ترکیبی آنزیم+هیدروکسید سدیم و فراصوت+هیدروکسید سدیم مشاهده شد. تیمار ترکیبی آب داغ ۸۰ درجه سلسیوس، آنزیم سلولاز ۰/۱ درصد و توان فراصوت ٥٦۰ وات به مدت ۲ دقیقه و تیمار ترکیبی آب داغ ۸۰ درجه سلسیوس و پراکسید هیدروژن ٤ درصد با pH=۱۱/٥ به ترتیب به عنوان بهترین عوامل ترکیبی در افزایش بازده استخراج و خلوص پنتوزان از سبوس گندم شناخته شدند.

کلید واژگان: پنتوزان، بازده استخراج، آنزیم سلولاز، فراصوت، اتوکلاو، مایکروویو

* مسئول مکاتبات: hr.akhavan@uk.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]

[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]

۱- مقدمه

گندم از مهم‌ترین محصولات غله‌ای است که به صورت گسترده‌ای در مناطق مختلف جهان با آب و هوای متنوع کشت می‌شود. دانه گندم از سه بخش اصلی پریکارپ یا سبوس (۱۴-۱۹ درصد)، آندوسپرم (۶۸-۸۰ درصد) و جوانه (۲-۳ درصد) تشکیل شده است [۱].

سبوس گندم، محصول جانبی فرایند آسیاب کردن گندم است که در مقادیر بسیار زیاد تولید می‌شود [۲] و کاربردهای زیادی در محصولات غذایی (به‌ویژه غلات صبحانه)، خوراک دام، داروسازی و صنایع تخمیری دارد [۱]. اما بخش قابل‌توجهی از آن در خوراک دام استفاده می‌گردد که ارزش اقتصادی کمی دارد [۳]. سبوس گندم غنی از کربوهیدرات (۶۰ درصد) بوده و به علاوه دارای ۱۲ درصد پروتئین، ۰/۵ درصد چربی، ۲ درصد مواد معدنی و کمتر از ۲ درصد ترکیبات زیست‌فعال و ویتامین‌ها است [۱]. به دلیل حضور ترکیبات با ارزش تغذیه‌ای مناسب، تاثیر سبوس بر سلامتی انسان گزارش شده است [٤].

پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای[1] در حدود ٤٦ درصد از ترکیبات اصلی سبوس گندم را تشکیل می‌دهند. پنتوزان‌ها[2] مهم‌ترین پلی‌ساکارید غیرنشاسته‌ای دانه گندم هستند که اغلب به عنوان آرابینوگزیلان‌ها[3] شناخته می شود و ٦٤ درصد پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای را شامل می‌شوند. پنتوزان‌ها از ترکیبات اصلی فیبر رژیمی[4] بوده و در دانه بسیاری از غلات از قبیل گندم، چاودار، ذرت، جو، جو دو سر، برنج و سورگوم یافت می‌شوند [۳]. این ترکیبات از دو جزء محلول و غیر محلول در آب تشکیل شده‌اند که در آرد گندم حدود ۲۵ درصد پنتوزان‌ها محلول می‌باشند [٤]. مصرف روزانه ۲-۱۰ گرم پنتوزان در روز باعث کاهش کلسترول و گلوکز خون می‌گردد. به دلیل حضور پنتوزان‌ها در اغلب غلات، این ترکیب بخش مهمی از فیبر رژیمی مورد مصرف انسان‌ها را تشکیل می‌دهد [۵].

از نظر تکنولوژیکی، پنتوزان‌ها می‌توانند بر تعادل آبی و خصوصیات رئولوژیکی خمیر و نیز بیاتی نان اثر داشته باشند. این ترکیبات می‌توانند با واکنش با گلوتن خواص گلوتن و خمیر را تغییر دهند. توانایی به دام انداختن آب و تشکیل محلول ویسکوز و یا ژل از طریق ایجاد اتصالات عرضی کوالانسی ویژگی‌های مهمی هستند که می‌توانند اثرات عملکردی مهمی بر تشکیل گلوتن و خواص آن داشته باشند [٦]. قابلیت جذب آب پنتوزان‌ها ممکن است بر توزیع رطوبت بین اجزای خمیر اثر گذاشته و بنابراین سبب بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر گردد. تاثیر مثبت این ترکیبات بر ساختار خمیر از طریق جزء محلول در آب پنتوزان‌ها حاصل می شود [۷].

از دهه ۱۹۸۰ میلادی ، پنتوزان‌ها به دلیل تأثیر قابل‌توجه آنها بر کیفیت خمیر و نان مورد توجه شیمی‌دان‌های غلات قرار گرفته‌اند. علاوه بر این ، پنتوزان‌ها به دلیل ویسکوزیته بالا و ویژگی عالی نگهداری آب به عنوان عوامل قوام دهنده[5] و پایدار کننده[6] در مواد غذایی به ویژه محصولات نانوایی ارزیابی شده‌اند [٤، ۸]. استخراج پنتوزان‌ها از سبوس گندم سبب توسعه کاربرد سبوس خواهد شد. با این وجود، با توجه به ساختار پیچیده دیواره‌های سلولی، استخراج پنتوزان‌های سبوس گندم با استفاده از آب دشوار است [۲، ٤]. در دیواره سلولی دست نخورده دانه غلات، اغلب پنتوزان‌ها و ترکیبات پلیمری دیگر با سایر اجزای دیواره دارای اتصال عرضی هستند تا شبکه ساختاری را ایجاد نمایند که این موضوع انحلال آنها را در محیط آبی مشکل می‌سازد [٤]. بر اساس مطالعه‌های علمی، مقدار بخش پنتوزان قابل استخراج با آب بسیار کمتر از بخش پنتوزان غیرقابل استخراج با آب در غلات یا محصولات جانبی غلات می‌باشد. بنابراین، بهبود حلالیت بخش غیرقابل استخراج با آب حوزه مهمی از پژوهش را در زمینه افزایش بازده استخراج پنتوزان‌ها ایجاد کرده است [٤]. در نتیجه این اتصالات عرضی، بخش عمده‌ای از پنتوزان‌ها در دانه‌های غلات نمی‌تواند به راحتی با استفاده از آب استخراج شوند و برای استخراج آنها نیاز به تیمارهای شدیدتر مانند استفاده از محلول‌های شیمیایی (هیدروکسیدهای سدیم، پتاسیم، کلسیم، پراکسید هیدروژن، کلریت سدیم)، یا هیدرولیز آنزیمی (اندوگزیلانازها[7]) و یا روش‌های فیزیکی (اکستروژن، فراصوت،

1. Nonstarch polysaccharides
2. Pentosans
3. Arabinoxylans
4. Dietary fiber

5.Thickening agent
6. Stabilizing agent
7. Endoxylanases

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]
[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]

مایکروویو) می‌باشد تا پنتوزان‌ها از شبکه ساختاری دارای اتصالات عرضی کووالانسی و غیر کووالانسی آزاد گردند [٤]. اما رایج‌ترین روش‌های معمول برای استخراج پنتوزان‌ها از سبوس، استفاده از محلول‌های قلیایی و تجزیه آنزیمی است [۳].

در مطالعات پیشین، روش‌های مختلف استخراج پنتوزان‌ها به صورت جداگانه ارزیابی شده‌اند، اما مقایسه عوامل موثر بر استخراج و اثر ترکیبی آنها بر بازده استخراج پنتوزان‌های سبوس گندم در متون علمی گزارش نشده است. بنابراین هدف پژوهش حاضر بررسی تاثیر تیمارهایی مانند فراصوت، مایکروویو، اتوکلاو، استفاده از آنزیم در حضور آب، هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن بر بازده استخراج و درجه خلوص پنتوزان قابل استخراج از سبوس گندم و همچنین افزایش بازده استخراج پنتوزان از سبوس گندم با ترکیب این عوامل می‌باشد. به‌علاوه، استخراج و خالص‌سازی پنتوزان‌ها از سبوس گندم به منظور توسعه کاربرد آن در صنایع غذایی از اهداف کاربردی این پژوهش می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

سبوس گندم از کارخانه آرد باقری (یاسوج) تهیه گردید. آنزیم سلولاز (EC 3.2.1.4; ≥0.3 units/mg solid) از شرکت سیگما تهیه گردید. یک واحد آنزیم می‌تواند ۱ میکرومول گلوکز را از سلولز در pH برابر با ۵ و در دمای ۳۷ درجه سلسیوس در طی ۱ ساعت گرمخانه‌گذاری آزاد کند. اتانول، پراکسید هیدروژن، هیدروکسید سدیم، اسید کلریدریک، زایلوز، اورسینول[8] و سایر مواد شیمیایی نیز از شرکت مرک خریداری شدند.

۲-۲- روش‌های استخراج

برای استخراج پنتوزان از تیمارهای آب داغ، پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، هیدروکسید سدیم (NaOH)، آنزیم+آب، آنزیم+هیدروکسید سدیم، فراصوت+آب، فراصوت+هیدروکسید سدیم، اتوکلاو+آب، اتوکلاو+هیدروکسید سدیم، مایکروویو+آب و مایکروویو+هیدروکسید سدیم استفاده گردید.

8. Orcinol

قبل از انجام فرایند استخراج با هر یک از روش‌های بالا، به منظور حذف ذرات آرد، نشاسته، گرد و خاک و سایر ناخالصی‌های موجود، ابتدا سبوس به مدت ۵ دقیقه در آب با دمای ۲۵ درجه سلسیوس با نسبت ۱ به ۱۰ (گرم سبوس به میلی‌لیتر آب) در یک بشر با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه به هم زده شد. سپس توسط الک (مش ۸۰) سبوس از آب جدا شد و با ۱ لیتر آب مقطر روی الک شستشو داده شد. در نهایت سبوس در آون با دمای ٤۰ درجه سلسیوس به مدت ۲٤ ساعت خشک شد.

استخراج پنتوزان با آب داغ: سبوس و آب داغ با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به نسبت ۱ به ۱۰ (گرم سبوس به میلی‌لیتر آب) با یکدیگر مخلوط شدند و به مدت ۲ ساعت در حمام آب داغ (ممرت، آلمان) با دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس این مخلوط با استفاده از الک (مش ۸۰) و به دنبال آن با کاغذ صافی واتمن شماره ٤۲ با استفاده از قیف بوخنر تحت خلاء صاف گردید. در مرحله بعد، مایع عبوری از کاغذ صافی با ٤ برابر اتانول مخلوط شد و پس از نگه‌داری به مدت یک شب در دمای ٤ °C با سرعت ۷۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ (NF1200; Nüve, Turkey) شد. در نهایت مواد ته نشین شده پس از تبخیر اتانول در آون خلاء (Memmert, VO200, Germany) با دمای ٤۰ °C توزین گردید [۹].

استخراج پنتوزان با هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن قلیایی: در استخراج با هیدروکسید سدیم، سبوس و محلول ۰/۰۱ میلی‌مولار هیدروکسید سدیم (pH =۹) با نسبت ۱ به ۱۰ (گرم سبوس به میلی‌لیتر آب) با هم مخلوط شدند [۱۰]. در استخراج با پراکسید هیدروژن نیز سبوس و پراکسید هیدروژن قلیایی ۲ درصد (pH=۹) با نسبت ۱ به ۱۰ با هم مخلوط شدند [۱۱]. این مخلوط‌ها به مدت ۲ ساعت در حمام آب داغ با دمای ۸۰ درجه سلسیوس نگه داشته شدند. ادامه مراحل مانند روش استخراج با آب صورت گرفت.

پیش‌تیمار با آنزیم سلولاز: به ازای هر ۱۰۰ گرم سبوس، ۰/۲ گرم پودر آنزیم سلولاز به مخلوط سبوس و آب مقطر (نسبت ۱ به ٤) اضافه گردید و pH مخلوط با استفاده از اسید کلریدریک ۰/۱ مولار روی pH بهینه فعالیت آنزیم (pH =۵) تنظیم شد و به مدت ٤ ساعت در دمای بهینه آنزیم (۳۷ °C) نگه داشته شد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]

[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]

پس از طی شدن زمان مورد نظر، سبوس در آون با دمای ٤٠ درجه سلسیوس به مدت ٢٤ ساعت خشک گردید. عمل استخراج مطابق روش‌های ذکر شده در بالا با آب داغ و هیدروکسید سدیم انجام گرفت.

پیش‌تیمار با امواج فراصوت، اتوکلاو و مایکروویو: در پیش‌تیمار با امواج فراصوت، پروب دستگاه فراصوت (Qsonica Q700, 700 W, Newtown, CT, US) در داخل بشر حاوی سبوس و آب مقطر یا محلول ٠/٠١ میلی‌مولار هیدروکسید سدیم (pH =٩) قرار گرفت و نمونه سبوس به مدت ٢ دقیقه با توان ١٠٥ وات تیمار گردید. در پیش‌تیمار اتوکلاو کردن، مخلوط سبوس و آب مقطر یا محلول ٠/٠١ میلی‌مولار هیدروکسید سدیم (pH =٩) در یک ظرف شیشه‌ای سر بسته قرار گرفت و در اتوکلاو (Iran Tolid, Iran) به مدت ٢٠ دقیقه در دمای ١٢٠ درجه سلسیوس نگه داشته شد. همچنین، در پیش‌تیمار با مایکروویو، مخلوط سبوس و آب مقطر یا محلول ٠/٠١ میلی‌مولار هیدروکسید سدیم (pH =٩) در یک ظرف شیشه‌ای سر بسته در دستگاه مایکروویو خانگی ٢٤٥٠ مگاهرتز (Samsung CE 1150) با توان خروجی ٩٠٠ وات به مدت ٢ دقیقه تیمار گردید. پس از اعمال پیش‌تیمارها، نمونه‌های سبوس در آون خشک شدند و استخراج پنتوزان مطابق روش‌های قبل با آب و هیدروکسید سدیم انجام گرفت.

٢-٣- اندازه‌گیری درصد پنتوزان استخراج شده

برای اندازه‌گیری درصد پنتوزان استخراج شده، محلول‌های استخراج با کاغذ صافی واتمن شماره ٤٢ با استفاده از قیف بوخنر تحت خلاء صاف شدند و به نسبت ١ به ٤ با اتانول مخلوط و پس از نگه‌داری به مدت یک شب در دمای ٤ °C و سانتریفیوژ کردن در ٧٠٠٠×g، رسوب حاصل جمع‌آوری و در دمای °C ١٠٥ تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد و بازده استخراج پنتوزان‌ها به صورت زیر محاسبه گردید [٢، ١٢].

= (٪) بازده استخراج

١٠٠×[وزن خشک سبوس اولیه (g) / وزن ماده خام استخراج و خشک شده(g)]

سپس به منظور اندازه‌گیری درجه خلوص نمونه‌های استخراج شده به وسیله تیمارهای مختلف از روش اورسینول- اسید کلریدریک استفاده شد. منحنی استاندارد[9] زایلوز با استفاده از محلول‌های زایلوز در محدوده غلظت ٠/١ تا ٠/٧ گرم/لیتر ترسیم گردید (شکل ١). برای این منظور، به لوله‌های آزمایش حاوی ٣ میلی‌لیتر از غلظت‌های مختلف محلول آبی زایلوز، مقدار ٣ میلی‌لیتر محلول ٠/١ درصد کلرید آهن (III) رقیق شده با اسید کلریدریک و ٠/٣ میلی‌لیتر محلول ١ درصد اورسینول رقیق شده با اتانول اضافه گردید. لوله‌های آزمایش به مدت ٣٠ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفتند تا واکنش کامل گردد. سپس، لوله‌ها با قرار گرفتن در حمام یخ تا رسیدن به دمای اتاق خنک شدند. برای تهیه نمونه شاهد از ٣ میلی‌لیتر آب به جای محلول‌های استاندارد استفاده شد. جذب نمونه‌های پنتوزان استخراج شده به وسیله تیمارهای مختلف در طول موج ٦٦١ نانومتر اندازه‌گیری شد و مقدار غلظت زایلوز بر مبنای منحنی استاندارد محاسبه گردید. درصد خلوص پنتوزان استخراج شده نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد [١٢]:

= (٪) درجه خلوص

غلظت قند (g/100mL) غلظت ماده خام استخراج شده / (g/100mL) ×١٠٠ زایلوز

در نهایت درصد استخراج واقعی پنتوزان طبق فرمول زیر محاسبه گردید:

= درصد استخراج واقعی پنتوزان

١٠٠/(درجه خلوص مواد استخراج شده × درصد استخراج مواد خام)

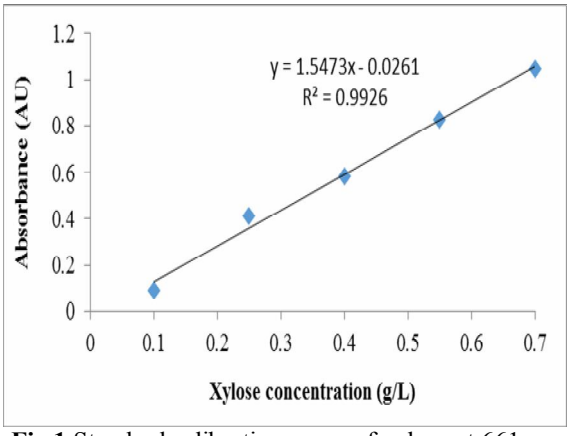

Fig 1 Standard calibration curve of xylose at 661 nm

٢-٤- آنالیز آماری

9. Calibration curve

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]

[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]

در این تحقیق ابتدا بازدهی استخراج پنتوزان‌ها از سبوس گندم و خلوص آن با استفاده از آب داغ، هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن به عنوان روش‌های مرسوم استخراج بررسی و محاسبه گردید. همچنین تاثیر پیش‌تیمارهای آنزیم سلولاز، امواج فراصوت، اتوکلاو و مایکروویو در حضور آب و هیدروکسید سدیم بر افزایش بازدهی استخراج و خلوص پنتوزان‌ها مطالعه گردید. در مرحله بعد به منظور بهبود بیشتر بازده استخراج، تیمارهایی با بالاترین درجه استخراج به صورت ترکیبی ارزیابی شدند.

در این تحقیق از طرح آماری «یک متغیر در هر زمان»[10] و انتخاب بهترین شرایط در مورد هر متغیر، به منظور تعیین متغیرهای اصلی و برهم کنش‌های مهم استفاده شد. آزمایش ها با سه تکرار انجام شدند و میانگین و انحراف معیار محاسبه گردیدند. داده‌های بدست آمده با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) در نرم افزار SPSS 21 تحلیل شدند و برای تعیین اختلاف بین میانگین نمونه‌ها از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵ ٪ ($p< 0.05$) استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر روش‌های مختلف بر بازده استخراج پنتوزان و خلوص آن از سبوس

نتایج مربوط به بازده مواد خام استخراج شده از سبوس گندم، درجه خلوص و مقدار واقعی پنتوزان در جدول ۱ بیان شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، از بین سه روش استخراج متداول (آب، هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن)، پراکسید هیدروژن و سپس هیدروکسید سدیم کارایی بیشتری در استخراج مواد خام از سبوس داشتند ($p< 0.05$). اما درجه خلوص مواد استخراج شده که با کمک منحنی استاندارد زایلوز بدست آمد، بیانگر کارایی بیشتر هیدروکسید سدیم در مقایسه با پراکسید هیدروژن بود. این موضوع نشان داد که در استخراج با هیدروکسید سدیم ناخالصی‌های کمتری وارد عصاره استخراجی شده‌اند. با این وجود، درصد استخراج واقعی در روش استخراج با پراکسید هیدروژن در مقایسه با هیدروکسید سدیم و آب بالاتر بود ($p< 0.05$). اتصال پنتوزان‌ها یا آرابینوگزیلان‌ها در سبوس به صورت فیزیکی یا شیمیایی به یکدیگر و یا دیگر ترکیبات دیواره سلولی از جمله لیگنین و سلولز از طریق پیوندهای هیدروژنی و کووالانسی در کنار وزن مولکولی بالای برخی از ترکیبات این خانواده، مانع از حل شدن و جداسازی آنها با آب می‌گردد [۷، ۱۱، ۱۳، ۱٤] و امکان استخراج بخشی از این ترکیبات فقط در صورت استفاده از مواد شیمیایی (هیدروکسید سدیم، پراکسید هیدروژن و ...) یا روش‌های فیزیکی (اکستروژن، فراصوت و ...) فراهم می‌آید [٤]. ماس و دلکور (۲۰۰۲)، میزان آرابینوگزیلان غیرقابل استخراج با آب از سبوس گندم را ۲٤/۱ درصد گزارش کردند که تنها ۰/۹ درصد آن قابل استخراج با آب بود. اما در صورت استفاده از هیدروکسید سدیم با pH برابر با ۱۱/۵ یا محلول ۲ درصد پراکسید هیدروژن میزان استخراج آرابینوگزیلان به بیش از ٦۵ درصد افزایش یافت [۱۱]. فرایند قلیایی حلالیت همی‌سلولز را بهبود می‌دهد. به طور خاص مولکول‌های نشاسته نیز تحت تاثیر شرایط قلیایی به مقدار جزئی هیدرولیز می‌شوند [۵]. استخراج قلیایی از طریق جداسازی استرهای فرولات باقیمانده‌های آربینوزیل[11] زنجیره پلیمری، سبب حذف اتصالات عرضی دی- و تری-فرولات شده که این موضوع سبب می‌شود مولکول های آرابینوگزیلان بیشتری استخراج شود [۱۵]. در پژوهش‌های مشابهی افزایش استخراج آرابینوگزیلان‌ها از سبوس گندم با روش قلیایی گزارش شده است [۳، ۹، ۱٦]. استفاده از محلول‌های قلیایی و پراکسید هیدروژن با شکستن اتصالات عرضی، باعث افزایش حل‌پذیری بخشی از لیگنین و ترکیبات همی‌سلولزی شده و از این طریق باعث افزایش حلالیت و در نتیجه افزایش بازده استخراج می‌گردد [۱۷].

همچنین در پژوهش حاضر، اثر چهار پیش‌تیمار آنزیم سلولاز، امواج فراصوت، اتوکلاو و مایکروویو بر بازده استخراج پنتوزان از سبوس گندم در حضور حلال آب و هیدروکسید سدیم مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول ۱، در صورت استفاده از این پیش‌تیمارها، بیشترین میزان بازده استخراج پنتوزان‌ها در تیمار

10 . One factor at a time

11. Arabinosyl residues

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]

[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]

ترکیبی آنزیم+هیدروکسید سدیم حاصل شد ($p< 0.05$). آنزیم‌ها می‌توانند با تبدیل آرابینوگزیلان‌های غیر محلول در آب به اجزایی با وزن مولکولی پائین‌تر و محلول [۲] و حذف ناخالصی‌هایی چون نشاسته و پروتئین [۵] و همچنین لیگنین [۱۷] باعث افزایش بازده استخراج و درجه خلوص پنتوزان گردند. ترکیبات سلولزی بخش قابل توجهی از پلی ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای سبوس را تشکیل می‌دهند [۱۱] که قابل استخراج با آب نمی‌باشند. بنابراین به نظر می‌رسد آنزیم سلولاز با تجزیه سلولز موجود در سبوس و تبدیل آن به اجزایی با وزن مولکولی پایین‌تر و قابل استخراج با آب باعث افزایش مواد خام استخراجی از سبوس شده و از طرفی با جداسازی سلولز از پنتوزان، بازده استخراج پنتوزان را نیز افزایش می‌دهد. در پژوهشی میزان استخراج آرابینوگزیلان‌ها از نمونه‌های سبوس گندم با و بدون پیش‌تیمار آنزیمی (آنزیم اندوگزیلاناز، در دمای ۵۵ درجه سلسیوس به مدت ۲٤ ساعت) با استفاده از محلول هیدروکسید سدیم (۰/٤٤ مولار در pH=۱۲/۵ به مدت ۱۵ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس) مقایسه شدند. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از پیش‌تیمار آنزیمی، درصد استخراج آرابینوگزیلان‌ها از ۳٤/۳ درصد به ٤۱/٤ درصد افزایش می‌یابد [۱۸]. همچنین در استخراج پنتوزان‌ها از سبوس چاودار، کارایی بالاتر شرایط قلیایی (هیدورکسید سدیم ۰/۱۷ و ۰/۲۵ مولار) همراه با آنزیم (آلفا-آمیلاز، آمیلوگلوکوزیداز و پروتئاز) در مقایسه با استخراج با آب گزارش شده است. به‌طوری‌که میزان پنتوزان استخراج شده با هیدورکسید سدیم (۰/۱۷ مولار، دمای ۳۰ درجه سلسیوس) ۵۰ درصد بالاتر از روش استخراج با آب در دمای ٦۵ درجه سلسیوس بود [۵].

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که امواج فراصوت نیز به میزان قابل توجهی موجب افزایش بازده استخراج پنتوزان‌ها می‌شود (جدول ۱). نتایج مشابهی در افزایش بازده استخراج آرابینوگزیلان از سبوس ذرت و گندم با استفاده از امواج فراصوت گزارش شده است [۱۳، ۱۹]. اثرات فیزیکی فرایند فراصوت به‌واسطه پدیده کاویتاسیون[12] و به دنبال آن ایجاد دمای موضعی بالا می‌تواند منجر به تخریب دیواره سلولی، کاهش اندازه اجزاء و افزایش انتقال جرم از میان غشاهای سلولی شود [۲۰]. در این راستا، تیمار فراصوت قادر است وزن مولکولی گزیلان‌های استخراج شده از پوسته ذرت را در هر دو محیط خنثی و قلیایی به صورت معنی‌داری تغییر دهد [٤]. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد استفاده از امواج فراصوت به همراه هیدروکسید سدیم باعث افزایش معنی‌دار بازده استخراج پنتوزان می‌شود ($p< 0.05$) که از این نظر تفاوت معنی‌داری با نتایج استخراج با پراکسید هیدروژن نداشت. هولمن و همکاران (۲۰۰۹) نیز مشاهده کردند که استفاده از فراصوت به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ٤۵-۵۰ درجه سلسیوس همراه با محلول ۳ درصد هیدروکسید سدیم باعث افزایش بازده استخراج پنتوزان گردید. همچنین، کاربرد همزمان فراصوت و محلول ۲ درصد پراکسید هیدورژن سبب افزایش درجه خلوص آرابینوگزیلان نشد، اما ترکیب فراصوت و پراکسید هیدروژن باعث کاهش زمان استخراج از ۲٤۰ دقیقه به ۱۰ دقیقه در مقایسه با روش متداول استخراج با محلول قلیایی گردید [۱۷]. به علاوه، نتایج وانگ و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد که فرایند ترکیبی فراصوت و آنزیم همانند روش‌های استخراج با محلول‌های شیمیایی سبب افزایش بازده استخراج گردید، به‌طوری که فراصوت کارایی تیمار آنزیمی و در نتیجه بازده استخراج را افزایش داد [۲]. بنابراین، می‌توان با استفاده از امواج فراصوت کاربرد ترکیبات شیمیایی مضر مانند پراکسید هیدروژن و یا حتی هیدروکسید سدیم را کاهش داد و همچنین اثرات مخرب این ترکیبات بر ساختار و گروه‌های عملکردی آرابینوگزیلان استخراج شده را کاهش داد.

با توجه به جدول ۱، فرایند اتوکلاو کردن تاثیر قابل‌توجهی بر بازده استخراج نداشت ($p> 0.05$). در این راستا، برگمنس و همکاران (۱۹۹٦) نیز مشاهده کردند که اتوکلاو کردن تاثیری بر بازدهی استخراج ندارد [۱۰]. با این وجود به دلیل غیرفعال‌سازی آنزیم‌هایی چون آرابینوگزیلاناز این فرایند به عنوان روشی مفید قبل از فرایند استخراج تلقی می‌گردد [۲]. همچنین استفاده از دمای بالا سبب کاهش گرانروی آرابینوگزیلان شده و سرعت استخراج را افزایش می‌دهد.

12 . Cavitation phenomenon

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]

[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]

Table 1 Extraction yield, purity and net quantity of extracted pentosan from wheat bran using alkaline hydrogen peroxide, hot water, sodium hydroxide and pretreatments of celullase enzyme, ultrasound and autoclave in the presence of water or sodium hydroxide*

Pentosan extraction treatments	Extraction yield (%)	Pentosan purity (%)	Net quantity of pentosan (%)
Alkaline hydrogen peroxide 2% (pH=9)	5.61±0.51b	67.68±2.97e	3.80±0.46b
Hot water (80 °C)	3.16±0.18d	80.62±1.84b	2.55±0.19de
Sodium hydroxide (pH=9)	3.80±0.08c	86.61±2.21a	3.29±0.13c
Cellulase 0.2%+Water	5.41±0.42b	53.23±2.33f	2.88±0.31cd
Cellulase 0.2%+ Sodium hydroxide (pH=9)	8.90±0.38a	50.26±1.15g	4.47±0.26a
Ultrasonic power (105 W; 2 min)+Water	3.75±0.20c	71.51±1.46d	2.68±0.18de
Ultrasonic power (105 W; 2 min)+ Sodium hydroxide (pH=9)	5.14±0.09b	79.58±1.43b	4.09±0.12ab
Autoclave (120 °; /20 min)+Water	3.08±0.11d	75.96±2.03c	2.34±0.13e
Autoclave (120 °; /20 min)+ Sodium hydroxide (pH=9)	3.89±0.11c	82.10±1.58b	3.19±0.14c
Microwave (900 W; 2 min)+Water	1.30±0.10f	79.80±1.40b	1.04±0.09g
Microwave (900 W; 2 min)+ Sodium hydroxide (pH=9)	1.94±0.15e	79.99±1.75b	1.55±0.15f

* Values are mean ± SD, n=3; DMRT, Duncan's Multiple Range Test ($p<0.05$). Values within the same column with different lowercase letter differ significantly ($p<0.05$).

سان و همکاران (۲۰۱۱) نیز از اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ٤٠ دقیقه برای بهبود شرایط فرایند استخراج آرابینوگزیلان از سبوس گندم دانه سیاه استفاده کردند. بازده استخراج، ٥/٨٤ درصد وزنی/وزنی مقدار اولیه سبوس بود که عمدتاً شامل آرابینوز (٣٦/٥٣ درصد) و گزیلوز (٦١/٣١ درصد) بود. حضور این ترکیبات بیانگر حضور آرابینوگزیلان‌های خالص است [۲۱]. بر این مبنا، بازده استخراج و خلوص آرابینوگزیلان‌های استخراج شده از سبوس گندم سیاه با روش اتوکلاو به صورت قابل‌توجهی بالاتر از مطالعه ما بود.

فرایند حرارتی با مایکروویو برخلاف روش‌های دیگر مورد مطالعه میزان بازده استخراج را کاهش داد (جدول ۱). با این وجود زمان فرایند با مایکروویو در مقایسه با واکنش استخراج با هیدروکسید سدیم و یا آب به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. پنتاپولاکال و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که فرایند استخراج همی سلولز از زیست توده چوب به مدت ۱۰ دقیقه با مایکروویو در توان‌های پائین، معادل با ۹۰ دقیقه فرایند استخراج در دمای ۵۰ درجه سلسیوس با روش‌های متداول می‌باشد [۲۲]. بنابراین با استفاده از مایکروویو می‌توان به سرعت و به صورت یکنواخت دمای محصول را به دمای مورد نظر رساند [۱۸]. بر اساس پژوهش‌ها، بازده استخراج در مایکروویو تحت تاثیر اندازه ذرات نمونه، غلظت محلول قلیایی، نسبت جزء جامد به مایع و زمان فرایند نیز می‌باشد که با بهینه‌سازی شرایط فرایند می‌توان میزان پنتوزان استخراج شده را به حداکثر رساند [۲۲، ۲۳]. به نظر می‌رسد پیش‌تیمار تک مرحله‌ایی مایکروویو بازده استخراج را بهبود نمی‌دهد [٢٤]. در این راستا گزارش شده است که با وجود افزایش سرعت آبکافت ترکیبات در سبوس گندم، بازده استخراج در پیش‌تیمار مایکروویو در مقایسه با نمونه شاهد بدون تغییر ماند [۲۵]. از طرفی به خوبی مشخص شده است که تیمار مایکروویو قادر به تجزیه برخی ترکیبات موجود در بافت‌های گیاهی است که همین موضوع می‌تواند بازده استخراج را کاهش دهد [۲۲، ٢٤]. با توجه به نتایج جدول ۱، با وجود کاهش بازده استخراج در مایکروویو، استفاده از محلول هیدروکسید سدیم در فرایند مایکروویو اثر منفی کمتری بر بازده استخراج داشت که در صورت بکارگیری شرایط کنترل شده از نظر دمایی شاید بتوان راندمان استخراج را به میزان قابل توجهی افزایش داد. به طور کلی می‌توان گفت امواج مایکروویو به دلیل کاهش زمان فرایند باعث صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف انرژی می‌گردد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]

[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]

۳-۲- تاثیر شرایط مختلف تیمارهای انتخابی و ترکیب آنها بر بازده استخراج پنتوزان‌ها و خلوص آنها از سبوس گندم

بر اساس نتایج مرحله قبل، تیمارهای فراصوت، آنزیم سلولاز، آب اکسیژنه و هیدروکسید سدیم تاثیر معنی‌داری بر بازده استخراج پنتوزان‌ها و خلوص آنها داشتند. با توجه به نتایج جدول ۱، بالاترین بازده استخراج پنتوزان‌ها از سبوس گندم با بکارگیری پراکسید هیدروژن، آنزیم+هیدروکسید سدیم و امواج فراصوت+هیدروکسید سدیم بدست آمد. بنابراین به منظور افزایش بازده استخراج، شرایط مختلف این عوامل مورد مطالعه قرار گرفتند تا بهترین روش استخراج پنتوزان‌ها انتخاب گردد. نتایج مربوطه به روش‌های انتخابی در جدول ۲ بیان شده است.

با توجه به تاثیر مثبت روش فراصوت در افزایش بازده استخراج پنتوزان، در پژوهش حاضر به منظور انتخاب بهترین شرایط استخراج از توان ۱۰۵ وات فراصوت (۸-۲ دقیقه) و همچنین توان‌های ۱۷۵، ۳۵۰ و ۵۶۰ وات فراصوت به مدت ۲ دقیقه استفاده گردید (جدول ۲). در توان ۱۰۵ وات فراصوت، افزایش زمان فرایند از ۲ به ۱۰ دقیقه سبب افزایش استخراج مواد از سبوس گندم گردید. با این وجود تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های ٤ تا ۸ دقیقه مشاهده نشد ($p> 0.05$). همچنین در زمان ثابت فرایند اگرچه افزایش توان فراصوت از ۱۰۵ وات به ۵۶۰ وات نیز اثر مثبت در افزایش بازده استخراج داشت اما تفاوت معنی‌داری بین آنها مشاهده نگردید ($p> 0.05$). با توجه به جدول ۲، افزایش زمان اعمال امواج فراصوت و نیز افزایش توان فراصوت باعث بهبود درجه خلوص پنتوزان استخراج شده گردید. به‌طوری‌که در توان ۵۶۰ وات فراصوت پنتوزان حاصله خلوص بالاتری داشت. ونگ و همکاران (۲۰۱٤) نیز تایید کردند که افزایش زمان بکارگیری امواج فراصوت و افزایش دما تا ۵۰ درجه سلسیوس تا حدی می‌تواند باعث بهبود بازده استخراج گردد [۲]. در روش فراصوت، افزایش زمان استخراج باعث شکسته شدن ساختار بافت گیاه و افزایش محل‌های واکنش می‌گردد که به استخراج مؤثر ترکیبات موجود در سبوس از طریق پدیده کاویتاسیون[13] کمک می‌نماید [۲٦].

همچنین تاثیر پراکسید هیدروژن قلیایی در غلظت‌های ۲ تا ۱۰ درصد در pH برابر با ۹ و در دو غلظت ۲ تا ٤ درصد در pH برابر با ۱۱/۵ مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۲). با توجه به نتایج حاصله، در pH برابر با ۹، افزایش غلظت پراکسید هیدروژن از ۲ به ٤ درصد سبب افزایش معنی‌دار درصد استخراج مواد خام گردید ($p< 0.05$)، اما غلظت‌های بالاتر پراکسید هیدروژن تفاوت معنی‌داری را ایجاد نکرد. با توجه به نتایج جدول ۲، افزایش pH از ۹ به ۱۱/۵ سبب افزایش قابل توجه بازده استخراج پنتوزان گردید ($p< 0.05$) که در حضور این ترکیب بالاترین درجه خلوص نیز حاصل گردید. مانسبرگر و همکاران (۲۰۱٤) نیز نتایج مشابهی را در ارتباط با افزایش بازده استخراج با افزایش pH فرایند گزارش کردند [۵]. در پژوهش-های دیگر نیز غلظت ۲ درصد پراکسید هیدروژن در pH=۱۱ به عنوان شرایط مناسب برای استخراج آرابینوگزیلان‌ها از سبوس گزارش شده است [۹، ۱۱، ۲۷].

افزودن آنزیم سلولاز (۰/۱- ۰/۳ درصد) و به دنبال آن استخراج با محلول هیدروکسید سدیم، بازده استخراج را به صورت معنی-داری افزایش داد. اما افزایش غلظت آنزیم سلولاز از ۰/۱ به ۰/۳ درصد تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد. به نظر می‌رسد فرایند خیساندن دسترسی آنزیم به سبوس را تسهیل نموده و با حذف ناخالصی‌هایی چون نشاسته و ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت آنزیم تاثیر قابل توجهی در افزایش بازدهی استخراج توسط آنزیم سلولاز داشته است. صغیر و همکاران (۲۰۰۸) نیز به منظور بهبود استخراج آرابینوگزیلان‌ها از پوسته دانه بارهنگ از خیساندن پوسته‌ها در آب قبل از فرایند استخراج با هیدروکسید سدیم استفاده نمودند [۲۸]. نتایج مربوط به پژوهش حاضر در ارتباط با تاثیر مثبت آنزیم بر افزایش بازده استخراج با نتایج ونگ و همکاران (۲۰۱٤) مطابقت داشت [۲]. لازم به ذکر است که بکارگیری آنزیم در استخراج پنتوزان‌ها از یک طرف باعث افزایش بازده استخراج گردید، اما از طرف دیگر درصد خلوص پنتوزان‌های استخراجی را کاهش داد. به‌طوری که کمترین خلوص مربوط به روش استخراج با کمک آنزیم بود.

13. Cavitation phenomena

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]

[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]

Table 2 Extraction yield, purity and net quantity of pentosans from wheat bran using various conditions of ultrasound, alkaline hydrogen peroxide, celullase enzyme and combined treatments

Extraction treatment			Extraction yield (%)	Pentosans purity (%)	Net quantity of pentosans (%)
Ultrasonic in NaOH (pH=9)	Ultrasonic power (105 W)	Time (2 min)	5.14±0.13l	79.58±1.43cd	4.09±0.17jkl
		Time (4 min)	7.14±0.28ijk	83.01±3.47bc	5.93±0.48fghi
		Time (6 min)	7.17±0.71ijk	83.58± 2.80abc	6.00±0.79fgh
		Time (8 min)	7.21±0.59ijk	84.91±5.35abc	6.14±0.89fgh
	Time (2 min)	Ultrasonic power (175 W)	7.30±0.35ijk	83.39±4.44abc	6.09±0.62fgh
		Ultrasonic power (350 W)	7.32±0.14ijk	85.29±2.21abc	6.24±0.28efgh
		Ultrasonic power (560 W)	7.42±0.33ijk	89.57±3.31ab	6.63±0.54dfgh
Alkaline hydrogen peroxide for 2 hour in waterbath (80°C)	pH= 9	2%	5.61±0.41l	67.68±2.97fgh	3.80±0.44kl
		4%	7.63±0.47hi	75.85±1.26ef	5.79±0.45ghi
		6%	7.50±0.83hij	66.72±4.19fghi	5.02±0.87hijkl
		8%	7.48±0.49ij	67.83±1.51fg	5.08±0.45hijk
		10%	7.52±0.70hij	67.10±3.51fghi	5.06±0.73hijk
	pH= 11.5	2%	9.82±0.12efg	84.23±3.18abc	8.30±1.37abc
		4%	9.98±0.10defg	84.48±1.91abc	8.43±0.27abc
Cellulase enzyme + NaOH (pH=9)	0.1% Cellulase enzyme+NaOH solution		10.90±1.08cde	53.87±2.77mn	5.90±1.10fghi
	0.2% Cellulase enzyme+NaOH solution		11.01±0.58cde	54.82±2.96lmn	6.04±0.64fgh
	0.3% Cellulase enzyme+NaOH solution		11.03±0.41cde	55.02±1.40klmn	6.07±0.38fgh
Soaking wheat-bran in hot water (80°C) and keeping in waterbath (80°C, 120 min), Cooling, Adding H_2O_2 4% (pH=11.5)			10.43±0.57cdef	90.36±1.40a	9.42±0.66a
Soaking wheat-bran in water (50°C) and keeping in waterbath (50°C, 120 min), Cooling, Adding H_2O_2 2% (pH=11.5)			10.42±0.81cdef	70.51±1.61ef	7.35±0.74cdef
Soaking wheat-bran in hot water (80°C) and keeping in waterbath (80°C, 120 min), Cooling, Adding 0.1% cellulase enzyme (at 37°C, 120 min), applying 560 W ultrasonic power for 2 min			11.74±0.35abc	78.19±0.85cd	9.18±0.37ab
Soaking wheat-bran in hot water (80°C) and keeping in waterbath (80°C, 120 min), Cooling, Adding 0.1% cellulase enzyme (at 37°C, 120 min), Adding H_2O_2 4% (pH=11.5)			11.33±0.30bcd	85.22±2.97abc	9.66±0.59a

* Values are mean ± SD, n=3; DMRT, Duncan's Multiple Range Test ($p<0.05$). Values within the same column with different lowercase letter differ significantly ($p<0.05$).

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]

[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]

در مرحله آخر با توجه به تاثیر مثبت دما، پراکسید هیدروژن در غلظت ٤ درصد با pH برابر با ١١/٥، آنزیم سلولاز ٠/١ درصد و فراصوت با توان ٥٦٠ وات بر بازده استخراج، اثر ترکیبی این عوامل با بیشینه تاثیر بر استخراج مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ٢). در میان روش‌های مورد استفاده ترکیب عوامل: آب ٨٠ درجه سلسیوس، آنزیم سلولاز ٠/١ درصد، امواج فراصوت به مدت ٢ دقیقه در توان ٥٦٠ وات و همچنین آب ٨٠ درجه سلسیوس، آنزیم سلولاز ٠/١ درصد، پراکسید هیدروژن ٤ درصد با pH=١١/٥ به عنوان بهترین عوامل ترکیبی در افزایش بازده و خلوص استخراج پنتوزان از سبوس گندم شناخته شدند.

٤- نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در استخراج پنتوزان‌ها از سبوس گندم، پراکسید هیدروژن بازده استخراج بالاتری را در مقایسه با هیدروکسید سدیم و آب داشت. آنزیم سلولاز به ویژه در ترکیب با هیدروکسید سدیم باعث افزایش درصد استخراج واقعی پنتوزان از سبوس گندم گردید. همچنین استفاده از امواج فراصوت به همراه هیدروکسید سدیم باعث افزایش بازدهی و درجه خلوص پنتوزان استخراج شده از سبوس گردید که مشابه با درصد استخراج بدست آمده از پراکسید هیدروژن بود. اتوکلاو کردن تفاوت معنی‌داری را در میزان بازده استخراج در مقایسه با هیدروکسید سدیم و یا آب ایجاد نکرد که به نظر می‌رسد ناشی از تاثیر نامطلوب دمای بالای مایکروویو بر گروههای عملکردی باشد. از این نظر روش مایکروویو را باید در ترکیب با روش‌های دیگر بکار برد یا از سامانه‌های کنترل دمایی مایکروویو استفاده کرد. نتایج نشان داد که در میان روش های مورد استفاده، به ترتیب استخراج با آنزیم و امواج فراصوت در حضور هیدروکسید سدیم بیشترین تاثیر را در افزایش درصد استخراج پنتوزان از سبوس داشتند. همچنین ترکیب سه عامل آب ٨٠ درجه سلسیوس، آنزیم سلولاز ٠/١ درصد، امواج فراصوت با توان ٥٦٠ وات به مدت ٢ دقیقه و همچنین آب ٨٠ درجه سلسیوس، آنزیم سلولاز ٠/١ درصد، پراکسید هیدروژن ٤ درصد با pH=١١/٥ بالاترین درصد استخراج پنتوزان را به دنبال داشتند. بنابراین استفاده از روش‌های ترکیبی بهترین راهکار برای دستیابی به حداکثر بازده و خلوص پنتوزان استخراجی از سبوس می‌باشد.

٥- منابع

[1] Javed, M. M., Zahoor, S., Shafaat, S., Mehmooda, I., Gul, A., Rasheed, H., Bukhari, S. A. I., and Aftab, M.N. 2012. Wheat bran as a brown gold: Nutritious value and its biotechnological applications. African Journal of Microbiology Research, 6(4): 724-733.

[2] Wang, J., Sun, B., Liu, Y., and Zhang, H. 2014. Optimisation of ultrasound-assisted enzymatic extraction of arabinoxylan from wheat bran. Food Chemistry, 150: 482-488.

[3] Zhou, S., Liu, X., Guo, Y., Wang, Q., Peng, D., and Cao, L. 2010. Comparison of the immunological activities of arabinoxylans from wheat bran with alkali and xylanase-aided extraction. Carbohydrate Polymers, 81(4): 784-789.

[4] Zhang, Z., Smith, C., and Li, W. 2014. Extraction and modification technology of arabinoxylans from cereal by-products: a critical review. Food Research International, 65: 423-436.

[5] Mansberger, A., D'Amico, S., Novalin, S., Schmidt, J., Tomoskozi, S., Berghofer, E., and Schoenlechner, R. 2014. Pentosan extraction from rye bran on pilot scale for application in gluten-free products. Food Hydrocolloids, 35: 606-612.

[6] Hoseney, R., and Faubion, J. 1981. A mechanism for the oxidative gelation of wheat flour water-soluble pentosans. Cereal Chemistry, 58(5): 421-424.

[7] Hartmann, G., Piber, M., and Koehler, P. 2005. Isolation and chemical characterisation of water-extractable arabinoxylans from wheat and rye during breadmaking. European Food

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]

[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]

[8] Izydorczyk, M. S., and Dexter, J. E. 2008. Barley β-glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products–a Review. Food Research International, 41(9): 850-868.

[9] Escarnot, E., Aguedo, M., and Paquot, M. 2011. Characterization of hemicellulosic fractions from spelt hull extracted by different methods. Carbohydrate Polymers, 85(2): 419-428.

[10] Bergmans, M., Beldman, G., Gruppen, H., and Voragen, A. 1996. Optimisation of the selective extraction of (glucurono) arabinoxylans from wheat bran: use of barium and calcium hydroxide solution at elevated temperatures. Journal of Cereal Science, 23(3): 235-245.

[11] Maes, C., and Delcour, J. 2001. Alkaline hydrogen peroxide extraction of wheat bran non-starch polysaccharides. Journal of Cereal Science, 34(1): 29-35.

[12] Gong, L., Jin, C., Wu, X., and Zhang, Y. 2012. Determination of arabinoxylans in Tibetan Hull-less barley bran. Procedia Engineering, 37: 218-222.

[13] Ebringerova, A., and Hromadkova, Z. 2002. Effect of ultrasound on the extractibility of corn bran hemicelluloses. Ultrasonics Sonochemistry, 9(4): 225-229.

[14] Rakha, A., Aman, P., and Andersson, R. 2010. Characterisation of dietary fibre components in rye products. Food Chemistry, 119(3): 859-867.

[15] Kale, M. S., Hamaker, B. R., and Campanella, O. H. 2013 .Alkaline extraction conditions determine gelling properties of corn bran arabinoxylans. Food Hydrocolloids, 31(1): 121-126.

[16] Escarnot, E., Aguedo, M., Agneessens, R., Wathelet, B., and Paquot, M. 2011. Extraction and characterization of water-extractable and water-unextractable arabinoxylans from spelt bran: Study of the hydrolysis conditions for monosaccharides analysis. Journal of Cereal Science, 53(1): 45-52.

[17] Hollmann, J., Elbegzaya, N., Pawelzik, E., and Lindhauer, M. G. 2009. Isolation and characterization of glucuronoarabinoxylans from wheat bran obtained by classical and ultrasound□assisted extraction methods. Quality Assurance and Safety of Crops and Foods, 1(4): 231-239.

[18] Aguedo, M., Fougnies, C., Dermience, M., and Richel, A. 2014 .Extraction by three processes of arabinoxylans from wheat bran and characterization of the fractions obtained. Carbohydrate polymers, 105: 317-324.

[19] Hromadkova, Z., Kostalova, Z., and Ebringerova, A. 2008. Comparison of conventional and ultrasound-assisted extraction of phenolics-rich heteroxylans from wheat bran. Ultrasonics Sonochemistry, 15(6): 1062-1068.

[20] Shirsath, S., Sonawane, S., and Gogate, P. 2012. Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations-A review of current status. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 53: 10-23.

[21] Sun, Y., Cui, S.W., Gu, X., and Zhang, J. 2011. Isolation and structural characterization of water unextractable arabinoxylans from Chinese black-grained wheat bran. Carbohydrate Polymers, 85(3): 615-621.

[22] Panthapulakkal, S., and Sain, M. 2013. Optimization of microwave assisted alkaline extraction of xylan from birch wood using response surface methodology. Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 1(06): 38-50.

[23] Yoshida, T., Tsubaki, S., Teramoto, Y., and Azuma, J. I. 2010. Optimization of microwave-assisted extraction of carbohydrates from industrial waste of corn starch production using response surface methodology. Bioresource Technology, 101(20): 7820-7826.

[24] Wang, T. H., and Lu, S. 2013. Production of xylooligosaccharide from wheat bran by microwave assisted enzymatic hydrolysis. Food Chemistry, 138(2-3): 1531-1535.

[25] Shengdong, Z., Ziniu, Y., Yuanxin, W., Xia, Z., Hui, L., and Ming, G. 2005. Enhancing enzymatic hydrolysis of rice straw by Research and Technology, 221(3-4): 487-492.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]

[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]

microwave pretreatment. Chemical Engineering Communications, 192(12): 1559-1566.

[26] Jiang, Y., Bai, X., Lang, S., Zhao, Y., Liu, C., and Yu, L. 2019. Optimization of ultrasonic-microwave assisted alkali extraction of arabinoxylan from the corn bran using response surface methodology. International Journal of Biological Macromolecules, 128: 452-458.

[27] Hollmann, J., and Lindhauer, M. 2005. Pilot-scale isolation of glucuronoarabinoxylans from wheat bran. Carbohydrate Polymers, 59(2): 225-230.

[28] Saghir, S., Iqbal, M. S., Hussain, M. A., Koschella, A., and Heinze, T. 2008. Structure characterization and carboxymethylation of arabinoxylan isolated from Ispaghula (*Plantago ovata*) seed husk. Carbohydrate Polymers, 74(2): 309-317.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]

[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]

Extraction of pentosans from wheat bran by conventional and combined methods

Emamiyan, M. [1], Radi, M. [2,3], Amiri, S. [2,3], Akhavan, H. R.[4*]

1. M.Sc. Graduate Student, Department of Food Science and Technology, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
2. Young Researchers and Elite Club, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
4. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(Received: 2018/10/06 Accepted:2020/01/07)

Wheat bran as a by-product of milling contain various compounds such as pentosans which have health promoting effects and functinal properties in industrial applications. In this study the extraction yield of pentosans by hot water 80°C, 0.01 mM sodium hydroxide and 2% alkaline hydrogen peroxide solutions as the conventional methods for pentosan extraction was evaluated. Then, the effects of pretreatments such as cellulase, ultrasound, autoclave and microwave in the presence of sodium hydroxide and water to increase the pentosan extraction yield were studied. Finally, in order to increase the extraction yield of the pentosans, pretreatments with the highest extraction yield (sonication, cellulase enzyme, hot water, sodium hydroxide, hydrogen peroxide) were evaluated as combined treatments. The results showed that the purity of pentosans extracted with sodium hydroxide was significantly higher than the hot water and hydrogen peroxide solution ($p<0.05$). Also, among the pretreatments of cellulase enzyme, ultrasound, autoclave and microwave in presence of water or sodium hydroxide, the combination of cellulase-sodium hydroxide and ultrasound-sodium hydroxide treatments resulted in the higher yields. The combined treatment of hot water (80°C)+cellulase enzyme+(0.1%)+ultrasound power (560 w, 2 minutes) and the combined treatment of hot water (80°C)+hydrogen peroxide (4%, pH=11.5) were identified respectively as the best combination factors to maximize extraction yield and pentosans purity from wheat bran.

Keywords: Pentosan, Extraction yield, Cellulase enzyme, Ultrasound, Autoclave, Microwave

*Corresponding Author E-Mail Address: hr.akhavan@uk.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-18]

[DOI: 10.29252/fsct.16.97.37]