



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی ویژگی‌های لیگنین، کربوکسی‌متیل سلولز و نشاسته استخراج شده از زائدات ذرت و ضایعات پیاز زعفران

راضیه نیازمند^{۱*}؛ پروین شرایعی^{۲*}؛ وحیده شریف^۳؛ محبوبه سرابی جماب^۴؛ سودابه عین افشار^۵؛ الهام آذرپژوه^۶؛ فرزانه شریف^۳

۱-گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۲-بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

۳-پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

۴-گروه بیوتکنولوژی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۲

کلمات کلیدی:

بنه‌ی زعفران،

ضایعات ذرت،

لیگنین،

نشاسته،

کربوکسی‌متیل سلولز

DOI: 10.48311/fsct.2025.83929.0.

* مسئول مکاتبات:

r.niazmand@rifst.ac.ir

parvin_sharaye@yaho.com

این پژوهش با هدف تولید محصولات با ارزش افزوده بالا شامل نشاسته و کربوکسی‌متیل سلولز به ترتیب از بنه‌ی زعفران و ضایعات ذرت و همچنین تولید عصاره‌های فعال از بنه‌ی زعفران و لیگنین از ضایعات ذرت انجام شد. در این مطالعه بازده استخراج، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و خاصیت ضد قارچی عصاره‌های حاصل از بنه‌ی زعفران و لیگنین تهیه شده از ضایعات ذرت و همچنین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته‌ی حاصل از بنه‌ی زعفران و کربوکسیل متیل سلولز تهیه شده از چوب ذرت بررسی شدند. بازده استخراج عصاره‌ی بنه‌ی زعفران و لیگنین استخراج شده از ضایعات ذرت به ترتیب بیشتر از ۱۴ و ۱۷ گرم در صد گرم و میزان ترکیبات فنلی و فعالیت گیرندگی رادیکال آزاد عصاره بنه زعفران و لیگنین به ترتیب ۱۳۷/۹۱ (میلی‌گرم معادل گالیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن خشک بنه) و ۲۹/۳۱ درصد و ۱۵۶/۶۹ (میلی‌گرم معادل گالیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن خشک چوب ذرت) و ۵۸/۸۵ درصد بود. حداقل غلظت ممانعت‌کنندگی و حداقل غلظت قارچ‌کشی لیگنین به دلیل بالاتر بودن میزان ترکیبات فنلی آن، پایین‌تر از عصاره‌ی بنه‌ی زعفران بود. میانگین قطر هاله عدم رشد کپک‌های *آسپرژیلوس فلاووس* و *آسپرژیلوس پارازیتیکوس* در اثر عصاره بنه زعفران و لیگنین به ترتیب ۱۳/۷۵ و ۱۰ میلی‌متر و ۱۶ و ۹/۵ میلی‌متر بود. محتوای خاکستر و پروتئین نشاسته‌ی حاصل از پیاز زعفران به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۷۵ گرم در صد گرم بود. بازده استخراج سلولز از ضایعات چوب ذرت ۳۸/۴۳ گرم در صد گرم و میزان خلوص و درجه‌ی استخلاف کربوکسی‌متیل سلولز تهیه شده از آن به ترتیب ۷۳ و ۸۵ گرم در صد گرم بود. نتایج حاصل از پرتوسنجی تبدیل فوریه زیرقرمز، تشکیل کربوکسی‌متیل سلولز از سلولز استخراج شده از چوب ذرت را تایید کرد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان گفت که ضایعات و زائدات مواد غذایی به عنوان منابع پایدار و کم هزینه برای تولید محصولات ارزشمند مانند سلولز و نشاسته با کاربردهای صنعتی قابل استفاده هستند.

۱- مقدمه

با کاهش ضایعات محصولات کشاورزی علاوه بر بازگرداندن حجم قابل توجهی از محصولات به چرخه مصرف، گام‌های بلندی نیز در راستای افزایش بهره‌وری منابع تولید از جمله آب و سایر نهاده‌های تولید (خاک، کود، سم، سوخت و انرژی) می‌توان برداشت. این امر سبب توجه جامعه جهانی و محققان به سمت استفاده بهینه از ضایعات و محصولات فرعی صنعت کشاورزی و غذا شده است. در میان ضایعات گسترده کشاورزی، ضایعات حاصل از بنه زعفران در ایران دارای اهمیت خاصی است.

ایران تولید کننده و صادرکننده حدود ۹۰ تا ۹۳ درصد زعفران دنیا است [۱]. زعفران در مناطق خشک و نیمه خشک که زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک دارند به خوبی رشد می‌کند. طبق آمارنامه جهاد کشاورزی، میزان تولید زعفران در سال ۱۴۰۱ حدود ۳۷۷ تن بوده است که از این میان حدود ۲۹۰ تن در استان خراسان رضوی، ۵۴ تن در خراسان جنوبی و حدود ۱۲ تن در خراسان شمالی تولید شده است. به طور خاص، برای هر ۱ کیلوگرم ادویه زعفران تولید شده، حدود ۶۳ کیلوگرم بقایای زیستی گل (شامل حدود ۵۳ کیلوگرم گلبرگ، ۹ کیلوگرم پرچم، ۱ کیلوگرم خامه)، ۱۵۰۰ کیلوگرم برگ و ۱۰۰ کیلوگرم بنه تولید می‌شود [۲]. بنه همان ساقه زیرزمینی گیاه زعفران است که فعالیت تکثیر گیاه را به عهده دارد. بنه زعفران حاوی ترکیبات ارزشمندی از قبیل ترکیبات فنلی، گلوکز، نشاسته، اسیدهای آمینه، اسیدهای چرب، استرول‌ها و ساپونین‌هاست [۳].

ذرت یکی دیگر از محصولات بسیار با ارزش و کاربردی در کشور می‌باشد. زراعت این گیاه از چند دهه پیش با افزایش توجه به امور دامپروری و پرورش طیور مورد توجه قرار گرفته و پس از استقبال دامداران، پرورش دهندگان مرغان گوشتی و تخم‌گذار و کارخانجات صنعتی و داروسازی،

به‌طور جدی دنبال شده است. ذرت دانه‌ای که از گیاهان مهم تیره غلات می‌باشد، دارای اندام‌های گیاهی شامل ریشه، ساقه، برگ، گل، دانه می‌باشد. محصول این گیاه که بلال نامیده می‌شود با هدف بهره برداری خوراکی برداشت می‌گردد. با توجه به ضریب برداشت ۵۲ درصد ذرت دانه‌ای [۴] و تولید ۱۱۰۱ هزار تن ذرت دانه‌ای در سال ۱۳۹۸ [۵] میزان باقیمانده‌های گیاهی ذرت دانه‌ای در حدود ۵۷۲ هزار تن تخمین زده می‌شود. باقیمانده‌های گیاهی ذرت دانه‌ای شامل ۵۰٪ ساقه، ۲۰٪ برگ، ۲۰٪ چوب بلال و ۱۰٪ پوست و غلاف می‌باشند [۶]. در حال حاضر زائدات ذرت دانه‌ای چندان مورد توجه نبوده و اغلب به عنوان مواد زاید تلقی گشته و نه تنها استفاده بهینه‌ای از آنها نمی‌شود، بلکه در برخی موارد این پسماندها به‌روش‌های نادرست دور ریخته و یا سوزانده می‌شوند که خود تاثیر نامطلوبی بر محیط زیست بجا خواهد گذاشت. در حالی که این پسماندها سرشار از مواد غذایی و ترکیبات شیمیایی بسیار ارزشمندی همانند سلولز و لیگنین می‌باشند. Perumal و همکاران (۲۰۲۲) به بحث در مورد استخراج نانوکریستال‌های سلولز (CNCs) از ضایعات آجیل آرکا و کاربرد بالقوه آنها در فیلم‌های بیوکامپوزیت پرداختند. این مطالعه نشان داد که فیلم‌های نانوبیوکامپوزیت حاصل، فعالیت ضد میکروبی خوبی در برابر عوامل بیماری‌زای منتقله از غذا و قارچ‌های پس از برداشت نشان می‌دهند که نشان‌دهنده مناسب بودن آنها برای کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی است [۷]. در پژوهشی دیگر دو روش خمیرسازی و شیمیایی-مکانیکی جهت استخراج فیبر سلولز از کاه برنج برای استفاده بالقوه به عنوان یک تقویت‌کننده زیست‌تخریب‌پذیر در مواد پلیمری بررسی شد [۸]. Fronza و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی اقتصادی و جنبه‌های فنی استخراج نشاسته از دانه‌های آووکادو که معمولاً ضایعات محسوب می‌شوند، پرداختند.

تبدیل شد و از الک (دماوند-ایران) با مش ۳۵ عبور داده شد و برای آزمون‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲-۱ آزمون‌های فیزیکوشیمیایی پودر بنه زعفران

۲-۲-۱-۱ ترکیب کلی

ترکیب پودر بنه زعفران براساس روش‌های استاندارد AOAC (۲۰۰۵) [۱۰] مشخص گردید. تعیین درصد رطوبت از طریق خشک کردن توسط آون الکتریکی صورت گرفت. خاکستر با استفاده از کوره الکتریکی (Ex.1200.2L, Excition Co. ساخت ایران) و در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس تعیین شد. اندازه‌گیری پروتئین با استفاده از دستگاه کج‌دال (Gerhardt, ساخت آلمان) و ضریب تبدیل ۶/۲۵، فیبر خام به روش ویند^۴ با دستگاه فیبرسنج انجام شد. تعیین چربی توسط دستگاه سوکسله صورت پذیرفت. میزان کربوهیدرات کل نیز از طریق کسر مجموع رطوبت، پروتئین، خاکستر، فیبر و چربی از صد محاسبه گردید.

۲-۲-۲ عصاره‌گیری از بنه زعفران

استخراج عصاره با استفاده از روش غوطه‌وری در حلال اتانول ۸۰ درصد (به مدت ۴۸ ساعت) انجام شد (شکل ۱). بعد از تکمیل فرایند، محلول تحت‌خلأ صاف گردید و با تبخیرکننده دوار تحت‌خلأ (مدل Laborota 4000 efficient, ساخت آلمان) در دمای ۴۵ درجه سلسیوس تا حد آب‌گیری کامل تغلیظ گردید. جهت جلوگیری از کف کردن و همچنین جهت رسیدن به دمای مناسب برای ورود به خشک‌کن انجمادی، محلول تغلیظ‌شده به مدت ۱۹ ساعت در فریزر با دمای ۷۰- درجه سلسیوس نگهداری و سپس به خشک‌کن انجمادی (مدل Operon FDB- 550، ساخت کره) منتقل شد. نمونه‌ها (حدود ۲۰۰ میلی‌لیتر) در خشک‌کن انجمادی در دمای ۵۵- درجه سلسیوس با فشار ۰/۱۵ میلی‌متر جیوه طی ۲۰ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک‌شده تا زمان انجام

آنها بیان کردند که فرایند استخراج از نظر فنی امکان‌پذیر تلقی می‌شود و بازده قابل توجهی از نشاسته را به همراه دارد که می‌تواند در صنایع مختلف، از جمله مواد غذایی و بیوپلاستیک‌ها مورد استفاده قرار گیرد [۹].

با این توضیحات هدف این پژوهش توجه به ضایعات و زائدات این دو محصول ارزشمند بود. در این پژوهش تولید محصولات با ارزش افزوده بالا و با کاربرد تجاری بالا شامل نشاسته و کربوکسی‌متیل سلولز به ترتیب از بنه ضایعاتی زعفران و زوائد ذرت بررسی شد. همچنین امکان تولید عصاره‌های فعال و از آن‌ها شامل عصاره بنه زعفران و لیگنین ذرت مورد پژوهش قرار گرفته و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی آن‌ها بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

مواد مورد استفاده در این پژوهش از شرکت‌های سیگما و مرک خریداری شدند. کپک آسپیریلوس فلاووس ATCC و آسپیریلوس پارازیتیکوس ATCC از کلکسیون میکروبی سازمان پژوهش‌های صنعتی ایران خریداری شد. محیط‌های کشت میکروبی شامل پوتیتودکستروز براث^۲ و پوتیتو دکستروز آگار^۳ هم‌چنین قرص رینگر از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

۲-۲- آماده‌سازی بنه زعفران

بنه زعفران در زمان خواب به صورت تصادفی از یکی از مزارع استان خراسان رضوی شهرستان زاوه برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. ابتدا پوشال اطراف بنه‌ها جدا و سپس با آب مقطر شستشو داده شد و به قطعات کوچک خرد شده و در آون با دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک شد. در نهایت نمونه خشک‌شده با آسیاب (دکوساب- ایران) به پودر نرم

آزمایش‌های بعدی، در تاریکی و دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

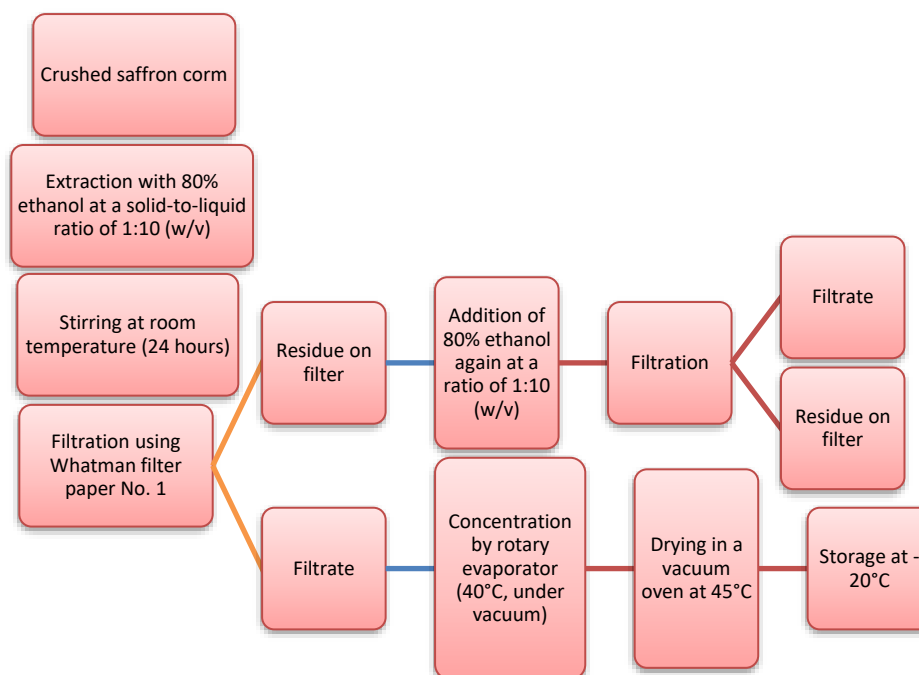


Fig 1: Extraction of saffron corm extract by immersion method

۲-۲-۵- ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به روش قدرت

مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH

برای تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH، ۱ میلی‌لیتر از عصاره بنه با ۲ میلی‌لیتر محلول متانولی معرف DPPH (با غلظت ۰/۰۰۴ درصد وزنی-حجمی) مخلوط شد. مخلوط تکان داده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. سپس جذب آن در طول موج ۵۱۷ نانومتر در مقابل حلال خالص اندازه‌گیری شد. محلول DPPH به صورت روزانه تهیه شده و در یک فلاسک شیشه‌ای پوشیده با فویل آلومینیوم نگهداری شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها به صورت درصد بازدارندگی رادیکال DPPH مطابق رابطه ۱ محاسبه شد [۱۳].

$$\text{Inhibition (\%)} = 100 \times \left(\frac{A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{blank}}} \right) \quad (1)$$

که در آن A_{blank} جذب شاهد و A_{sample} جذب نمونه بود.

۲-۲-۳- تعیین بازده کل استخراج

به منظور تعیین بازده استخراج، عصاره خشک شده انجمادی حاصل از استخراج به دقت توزین شد. در نهایت باتوجه به نسبت اولیه ۱:۱۰ پودر بنه به حلال، بازده کل به صورت گرم عصاره در هر ۱۰۰ گرم بنه زعفران خشک گزارش شد [۱۱].

۲-۲-۴- تعیین ترکیبات فنلی کل

برای تعیین محتوای فنلی کل، ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره به ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین-سیوکالچو (با غلظت ۱۰ درصد حجمی-حجمی) اضافه شد. پس از ۴ دقیقه، ۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد افزوده شد. جذب مخلوط پس از ۳۰ دقیقه گرم‌خانه‌گذاری در دمای محیط، در طول موج ۷۶۵ نانومتر با طیف‌سنج مرئی-فرابنفش اندازه‌گیری شد. گالیک اسید به عنوان استاندارد استفاده شد و نتایج به صورت میلی‌گرم معادل گالیک اسید در هر ۱۰۰ گرم پودر بنه خشک بیان شد [۱۲].

۲-۲-۶- ارزیابی ظرفیت آنتی اکسیدانی با روش مبتنی بر احیای آهن^۵

معرف مورد استفاده در روش تعیین قدرت آنتی اکسیدانی مبتنی بر احیای آهن، مخلوطی از بافر استات سدیم (۳۰۰ میلی مول بر لیتر، با pH ۳/۶)، محلول ۶،۲،۴-تریس (۲-پیریدیل)-اس-تری آزین (۱۰ میلی مولار و تهیه شده در کلریدریک اسید ۴۰ میلی مولار)، محلول ۲۰ میلی مولار از کلراید آهن (III) و آب مقطر به ترتیب به نسبت ۱۰:۱:۱/۲ است که به صورت روزانه تهیه می شود. برای اندازه گیری خاصیت آنتی اکسیدانی، ۰/۲ میلی لیتر از نمونه به ۱/۸ میلی لیتر معرف FRAP اضافه شد. جذب مخلوط پس از ۱۰ دقیقه گرم خانه گذاری در دمای ۳۷ درجه سلسیوس، در طول موج ۵۹۳ نانومتر اندازه گیری شد. منحنی استاندارد با استفاده از محلول سولفات آهن (II) ترسیم شد و نتایج به صورت میلی مول بر لیتر آهن (II) در هر ۱۰۰ گرم پودر به محاسبه شد. در صورت لزوم برای نمونه ها رقیق سازی انجام شد [۱۴].

۲-۳- بررسی خاصیت ضدباکتریایی عصاره بنه زعفران و لیگنین حاصل از چوب ذرت

۲-۳-۱- فعال سازی میکروارگانیسم ها

به منظور تهیه سوسپانسیون قارچی، ابتدا از کشت اولیه آسپرژیلوس فلاووس^۶ و آسپرژیلوس پارازیتیکوس^۷ به وسیله یک لوپ استریل، زیرکشت تهیه شد و درون گرم خانه با دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت تا بعد از ۵ روز کپک وارد فاز لگاریتمی شود و اسپورزایی نماید. اسپور قارچ کشت داده شده در محیط پوتیتودکستروز آگار به صورت استریل خراشیده و به داخل رینگر استریل حاوی توئین ۸۰ انتقال یافت و تعداد اسپور قارچ با لام هموسیتمتر شمارش شد و در نهایت تعداد عدد اسپور و آسپرژیلوس پارازیتیکوس

و آسپرژیلوس فلاووس به ترتیب $1/1 \times 10^6$ و $1/4 \times 10^6$ واحد تشکیل دهنده کلنی^۸ بر میلی لیتر شمارش گردید.

۲-۳-۲- اندازه گیری هاله ی عدم رشد میکروبی

برای انجام این آزمون از روش انتشار دیسک^۹ استفاده شد. به منظور انجام آزمون ابتدا سوسپانسیون میکروبی با غلظت معادل 10^6 و 10^3 واحد تشکیل دهنده کلنی بر میلی لیتر از اسپور آسپرژیلوس فلاووس و آسپرژیلوس پارازیتیکوس تهیه شد. سپس ۱۰۰ میکرو لیتر از سوسپانسیون های میکروبی بر سطح محیط پوتیتودکستروز آگار به طور یکنواخت پخش گردید. دیسک های بلانک استریل به قطر ۶ میلی متر به ۳۰ میکرو لیتر از عصاره بنه زعفران با غلظت ۰/۵ میلی گرم بر لیتر و همچنین به ۳۰ میکرو لیتر لیگنین با غلظت ۰/۰۵ میلی گرم بر لیتر آغشته گردید و سپس در سطح محیط آگار قرار داده شد. لازم به ذکر است عصاره قبل از استفاده از فیلتر استریل ۰/۴۵ میکرومتر عبور داده شد. دیسک آغشته به آب و دی متیل سولفواکسید^{۱۰} به عنوان کنترل منفی و دیسک آغشته به محلول ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر کتوکونازول به عنوان کنترل مثبت در سطح محیط آگار قرار داده شدند. پلیت ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت گرم خانه گذاری شدند و سپس قطر هاله عدم رشد در اطراف دیسک ها اندازه گیری و به میلی متر گزارش گردید [۱۵].

۲-۳-۳- تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی رشد قارچی^{۱۱}

و حداقل غلظت قارچ کشی^{۱۲} به روش ریزرت سازی^{۱۳} برای تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی رشد قارچی نمونه ها از روش میکرو دیلوشن با استفاده از کدورت سنجی به وسیله دستگاه الیزاریدر (Biotech, ELX 808، ساخت آمریکا) استفاده شد. به این صورت که ابتدا ۱۰۰ میکرو لیتر از رقت های مختلف عصاره بنه زعفران و لیگنین (۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵، ۶۲/۵، ۳۱/۲۵، ۱۵/۶۲۵، ۷/۸۱۲۵، ۳/۹۲۵، ۰/۱۹ میلی گرم در هر میلی لیتر) به میکروتیوب هایی که حاوی ۱۰۰ میکرو لیتر

10- DMSO

11- Minimum inhibitory concentration (MIC)

12- Minimum concentration fungicidal (MFC)

13- Micro-dilution method

5- Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)

6- *Aspergill Flavus*7- *Aspergillus parasiticus*

8 - Colony-forming unit (CFU)

9- Disk Difussion

شد. به منظور حذف چربی و پروتئین‌های موجود، رسوبات نشاسته در آب نمک با درجهٔ بریکس ۱۰ به همراه تولوئن (یک هشتم حجمی) به مدت یک شب هم‌زده شد [۱۷]. سپس لایهٔ تولوئن با سانتریفیوژ حذف و لایهٔ خاکستری روی سطح رسوبات به کمک قاشقک جدا شد. لایهٔ ته‌نشین شده یک بار با آب، یک بار با استون و ۵ مرتبه با آب مقطر شستشو داده شد. در نهایت نشاستهٔ خالص شده به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۳۵ درجهٔ سلسیوس خشک شد. نشاستهٔ حاصل به آرامی خرد و از الک با مش ۱۰۰ عبور داده شد. بازده استحصال نشاسته از طریق رابطهٔ ۲ محاسبه شد.

$$\text{Starch yield (\%)} = 100 \times \left(\frac{S}{sp}\right) \quad (2)$$

که در آن S مقدار نشاستهٔ استخراج شده (گرم) و SP مقدار اولیهٔ پودر بنهٔ زعفران (گرم) است.

۲-۴-۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاستهٔ بنهٔ زعفران

۲-۴-۱-۱- ترکیب کلی

نمونه‌های نشاسته از نظر میزان پروتئین خام ($N \times 6.25$)، میزان چربی و میزان خاکستر مورد بررسی قرار گرفتند [۱۰]. جهت اندازه‌گیری میزان آمیلوز، رنگ کمپلکس ید-نشاسته به دست آمده در pH حدود ۴/۵ تا ۴/۸ در بافر استات در طول موج ۶۲۰ نانومتر توسط دستگاه طیف‌سنجی مرئی-فرا بنفش خوانده شد. منحنی استاندارد محلول آمیلوز در آب با غلظت ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۲۴ میلی گرم بر میلی لیتر جهت اندازه‌گیری غلظت آمیلوز در نمونهٔ مورد استفاده قرار گرفت [۱۹].

۲-۴-۱-۲- تعیین مؤلفه‌های رنگی

حدود ۵۰۰ میلی گرم نمونه مابین دو لامل قرار داده شد و تصویر آن به کمک اسکنر مدل (Hp Scan Jet G3010) گرفته شد. به منظور جلوگیری از ورود هرگونه نور جانبی، سطح اسکنر با پارچهٔ کاملاً سیاه و ضخیم پوشانیده شد. تصاویر با وضوح ۳۰۰ dpi و فرمت JPEG ذخیره گردیدند. پس از انتقال تصاویر به رایانه، مختصات رنگی آنها در فضای رنگی Lab با نرم افزار ImageJ (version 1.40g) استخراج شد. مدل رنگی Lab مرکب از مؤلفهٔ L (روشنی) با محدودهٔ صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید)، مؤلفهٔ a (قرمزی) نامحدود با طیف رنگی

محیط PDB و ۱۰ میکرو لیتر سوسپانسیون میکروبی (1×10^6) واحد تشکیل دهندهٔ کلنی بر میلی لیتر) بود، اضافه شد. سل حاوی محیط کشت و ترکیبات ضد میکروبی بدون سوسپانسیون میکروبی به عنوان کنترل منفی و سل حاوی محیط کشت مایع و ۱۰ میکرو لیتر سوسپانسیون میکروبی بدون حضور ترکیبات ضد میکروبی به عنوان کنترل مثبت تهیه شد. سپس پلیت الایزا در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس گرم‌خانه‌گذاری شد. رشد میکروبی با اندازه‌گیری دانسیتهٔ چشمی توسط دستگاه الایزا تعیین شد. حداقل غلظت بازدارندگی رشد، کمترین غلظتی از عصارهٔ بنهٔ زعفران و یا لیگنین با کدورتی مشابه چاهک‌های کنترل منفی به عنوان حداقل غلظت مهارکنندگی رشد قارچی انتخاب شد. به منظور تعیین حداقل غلظت قارچ‌کشی ترکیبات ضد میکروبی، ۱۰۰ میکرو لیتر از چاهک با کدورت مشابه شاهد منفی و یا کمتر از آن، روی سطح محیط کشت PDA پخش شد و در دما و زمان مناسب برای میکروارگانیسم‌ها گرم‌خانه‌گذاری شد. کمترین غلظت قارچ‌کشی در واقع کمترین غلظت از ترکیبات ضد میکروبی است که سبب مرگ میکروارگانیسم‌ها شود به گونه‌ای که هیچ گونه کلنی روی پلیت‌ها مشاهده نشود [۱۶].

۲-۴-۲- استخراج و خالص‌سازی نشاسته

پودر بنهٔ زعفران به مدت ۲ ساعت در آب حاوی متابی سولفیت سدیم (۰/۰۷۵ درصد) با نسبت ۱:۲ (وزنی-حجمی) خیسانده شد [۱۷]. بعد از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۲۰۰۰ دور در دقیقه)، آب به میزان چهار برابر حجمی اضافه شده و pH با استفاده از محلول‌های هیدروکسید سدیم/کلریدریک اسید ۱ مول بر لیتر تا ۸ قلیایی شد. سوسپانسیون به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط توسط هم‌زن مغناطیسی هم‌زده شد تا پروتئین‌های موجود حل شده و جداسازی نشاسته تسهیل شود [۱۸]. مخلوط به مدت ۲ ساعت بدون حرکت نگهداری شد تا نشاسته ته‌نشین شود. بعد از حذف لایهٔ شناور، لایهٔ ته‌نشین شده با کمی آب مخلوط و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. مخلوط لایهٔ ته‌نشین شده با آب از الک با مش ۲۰۰ عبور داده

سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) و مؤلفه b (زردی) نامحدود با طیف رنگی آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) بود [۲۰].

۲-۵- استخراج ترکیبات از ضایعات ذرت

۲-۵-۱- لیگنین

استخراج لیگنین به روش دیوکسان اسیدی با تغییرات و اصلاحات جزئی انجام شد [۲۱]. بدین منظور، ابتدا چوب ذرت به قطعات کوچک خرد شده و سپس با آسیاب (دکوساب، ساخت ایران) به پودر نرم تبدیل شد و از الک (دماوند، ساخت ایران) با مش ۶۰ عبور داده شد. برای جداسازی مواد استخراجی و کربوهیدرات‌ها، پودر حاصله توسط استون و سپس توسط آب، هر بار به مدت ۶ ساعت در داخل سوکسله شستشو داده شد. ۲۵ گرم از پودر عاری از مواد استخراجی به همراه ۹۰ میلی‌لیتر دیوکسان و ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک ۳۷ درصد به مدت ۱۰ ساعت در حمام آب گرم ۶۷ درجه سلسیوس حرارت داده شد. سپس دیوکسان حاوی لیگنین و اسید از کاغذ صافی عبور و در آب مقطر رسوب داده شد. لیگنین حاصله با آب مقطر تا زمان حذف کامل اسید شستشو و در دمای محیط خشک شد. بازده استحصال لیگنین از طریق رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\text{Lignin yield (\%)} = 100 \times \left(\frac{l}{lp} \right) \quad (3)$$

که در آن l مقدار لیگنین استخراج شده (گرم) و IP مقدار اولیه چوب ذرت (گرم) است.

۲-۵-۲- استخراج سلولز از چوب ذرت

بدین منظور، ابتدا چوب ذرت به قطعات کوچک خرد شده و سپس با آسیاب (دکوساب، ساخت ایران) به پودر نرم تبدیل شد و از الک (دماوند، ساخت ایران) با مش ۶۰ عبور داده شد. سپس پودر چوب ذرت و آب، با نسبت آب به پالپ ۱:۲۰ در یک مخلوط‌کن به مدت ۱۰ دقیقه هم‌زده شد. این فرایند به منظور حذف مواد گوشتی چسبیده به پوست چوب ذرت انجام شد. مخلوط از صافی ۲۵۰ میکرومتری عبور داده شد و چند بار با آب مقطر شستشو داده شد. ضایعات پوست چوب ذرت حاوی نشاسته، سلولز، همی سلولز، لیگنین و

سایر ناخالصی‌ها هستند [۲۲] و قبل از هیدرولیز اسیدی نیاز به چند مرحله پیش‌فرایندهای قلیایی و بی‌رنگ کردن دارد تا ترکیبات سلولزی جدا گردند [۲۳]. ترکیبات آماده‌شده از مرحله بالا با محلول ۰/۵ نرمال هیدروکسید سدیم در دمای ۸۰ درجه سلسیوس، به مدت ۲/۵ ساعت هم‌زده شد. این مرحله سه بار تکرار شد تا لیگنین، همی سلولزها و سایر ناخالصی‌ها به‌طور کامل حذف شوند. پس از هر فرایند پالپ با آب مقطر شسته شد و از صافی ۷۵ میکرومتری عبور داده شد تا محلول‌های قلیایی و ناخالصی‌های حل‌نشده حذف شوند. سپس با استفاده از محلول ۲/۳ درصد وزنی سدیم کلریت در بافر استات (pH=۹) بی‌رنگ شد. هدف از بی‌رنگ کردن حذف بقایای آلی است. فرایند بی‌رنگ کردن دو بار در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت در هر مرحله انجام شد. سلولز استخراج‌شده شسته و با استفاده از خشک‌کن انجمادی (مدل Operon FDB- 550، ساخت کره) خشک شد [۲۴]. بازده استحصال سلولز از طریق رابطه ۴ محاسبه شد.

$$\text{Cellulose yield (\%)} = 100 \times \left(\frac{C}{Cp} \right) \quad (4)$$

که در آن C مقدار سلولز استخراج‌شده (گرم) و CP مقدار اولیه چوب ذرت (گرم) است.

۲-۶- تولید کربوکسی متیل سلولز از سلولز استخراجی

ابتدا به ۲ گرم سلولز خشک، ۱۰۰ میلی‌لیتر ایزوپروپیل‌الکل ۹۹ درصد افزوده شد و پس از هم‌زدن، ۲۰ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۴۰ درصد اضافه شد. محلول به مدت ۹۰ دقیقه هم‌زده شد. سپس ۳ گرم مونوکلواستیک اسید به تدریج و در مدت ۳۰ دقیقه به محلول افزوده شد و سوسپانسیون به مدت ۳ ساعت دیگر در دمای ۵۵ درجه سلسیوس هم‌زده شد. در ادامه متانول ۷۰ درصد به محتوای قبلی افزوده شد و خنثی‌سازی تا pH معادل ۷ با استیک اسید ۹۰ درصد انجام شد. سوسپانسیون حاصل بعد از فیلتراسیون با اتانول ۷۰ درصد طی ۶ مرحله و در نهایت با متانول خالص شستشو داده شد. خمیر حاصل در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک و سپس آسیاب شد [۲۵].

۲-۶-۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی کربوکسی متیل سلولز

تعیین درصد رطوبت از طریق خشک کردن توسط آون الکتریکی (Memmert oven, model UL 40, schwabach, ساخت آلمان) صورت گرفت. خاکستر با استفاده از کوره الکتریکی (Excition Co., Ex.1200.2L, ساخت ایران) و در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس تعیین شد. گرانروی محلول ۱ درصد کربوکسی متیل سلولز با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد و مطابق روش Khullar و همکاران (۲۰۰۵) اندازه گیری شد [۲۶].

۲-۶-۲- تعیین درجه استخلاف کربوکسی متیل سلولز

بدین منظور، ابتدا خاکستر کربوکسی متیل سلولز (۰/۵ گرم در حرارت ۷۰۰ درجه سلسیوس) تهیه شد. خاکستر حاصل در دسیکاتور به دمای اتاق رسید. سپس ۶ میلی لیتر آب جوش دیونیزه به آن افزوده شد تا کاملاً حل شود. محلول حاصل با اسیدسولفوریک ۰/۱ نرمال تیتر شده تا pH محلول به ۴/۴ برسد. در نهایت با استفاده از رابطه ۵، درجه استخلاف محاسبه شد [۲۵].

$$DS = \frac{0.162 \left(\frac{0.1b}{G} \right)}{1 - 0.08 \left(\frac{0.01b}{G} \right)} \quad (5)$$

که در آن b میزان اسید مورد نیاز برای تیتراسیون (میلی لیتر) و G میزان کربوکسی متیل سلولز مصرفی (گرم) می باشد.

۲-۶-۳- تعیین میزان خلوص کربوکسی متیل سلولز

۳ گرم نمونه به دقت توزین شد و به یک بشر ۴۰۰ میلی لیتر منتقل شد و ۱۵۰ میلی لیتر اتانول ۸۰ درصد که تا دمای ۶۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس حرارت دیده بود به آن اضافه و در یک حمام بخار با دمای ۶۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده شد و با یک همزن به مدت ۱۰ دقیقه هم زده شد. سپس هم زدن متوقف و بشر در حمام بخار، در حالت سکون قرار داده شد تا مواد غیر محلول ته نشین شود و مایع رویی جدا شد. سپس ۱۵۰ میلی لیتر اتانول ۸۰ درصد با دمای ۶۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس به بشر اضافه و مرحله قبل تکرار شد. پس از ته نشینی مواد، تمام مواد غیر محلول به یک ظرف درب دار

منتقل و به آن ۲۵۰ میلی لیتر اتانول ۸۰ درصد با دمای ۶۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس افزوده شد و تحت خلأ صاف و با ۵۰ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد شستشو داده شد. بعد از تبخیر الکل در دمای اتاق، مواد باقی مانده در ظرف در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت خشک شد. درصد خلوص کربوکسی متیل سلولز از رابطه ۶ محاسبه شد [۲۷].

$$CMC = (A \times 10000) / (B (100 - C)) \% \quad (6)$$

که A، وزن باقی مانده خشک شده، B، وزن نمونه استفاده شده و C، درصد رطوبت نمونه می باشد.

۲-۷- طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز

طیف تبدیل فوریه ترکیبات لیگنین، نشاسته و عصاره بنه زعفران با هدف تعیین گروه های عاملی در ترکیبات سنتز شده با استفاده از دستگاه طیف سنج تبدیل فوریه (Perkin Elmer, ساخت آمریکا) و در گستره ۴۰۰۰-۴۰۰ با وضوح 4cm^{-1} تعیین گردید [۲۸].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ترکیب کلی بنه زعفران و ضایعات ذرت

خصوصیات فیزیکوشیمیایی بنه زعفران خشک و ضایعات ذرت (چوب ذرت) در جدول ۱ مشاهده می شود. همان طور که در جدول ۱ مشخص است، کربوهیدرات کل جزء اصلی بنه زعفران خشک و چوب ذرت است. در پژوهش های گذشته تغییرات محتوای قند کل محلول و پروتئین محلول بنه زعفران خشک در طول دوره خواب بررسی و گزارش شده است که میزان قند کل محلول از حدود ۶ درصد در اردیبهشت ماه تا حدود ۱۳ درصد در مرداد ماه و میزان پروتئین کل از حدود ۰/۲ درصد بر مبنای وزن تر در اردیبهشت ماه تا حدود ۱/۲ درصد بر مبنای وزن تر در مرداد ماه متفاوت است [۲۹]. لازم به ذکر است که میزان رطوبت بنه زعفران تازه نیز حدود 60.71 ± 0.89 درصد قرار داشت.

Table 1 The composition of saffron corm and corn waste

property (grams per 100 grams)	corn cob waste (corn wood)	Dried saffron corm
Moisture	7.67 ± 0.12	9.56 ± 0.21
Protein	3.10 ± 0.23	3.29 ± 0.18
Ash	4.93 ± 0.053	1.93 ± 0.06
Lipid	0.06 ± 0.01	3.12 ± 0.03
Fiber	25.70 ± 0.12	1.93 ± 0.01
Total Carbohydrates	58.54 ± 0.51	80.11 ± 0.32

*Data are the average of three replicates and are expressed as mean ± standard deviation.

استخراج شده از بنه زعفران و لیگنین استخراج شده از

ضایعات ذرت را نشان می دهد.

۲-۳- فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره بنه زعفران و لیگنین

جدول ۲، میزان ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره

Table 2 Phenolic compounds and antioxidant activity in saffron corm and lignin extract.

property	The extract obtained from saffron corm	Lignin extracted from corn cob waste
Total phenolic compounds (mgGAE/ 100gDW)	137.91 ± 0.88	156.69 ± 1.59
Radical scavenging activity (DPPH) (%)	29.31 ± 1.04	58.85 ± 0.69
Ferric reducing antioxidant power (FRAP)(mmol Fe(II)/100g)	5.24 ± 0.88	7.85 ± 0.88
Extraction yield (%)	14.56 ± 2.8	17.32 ± 1.83

*Data are the average of three replicates and are expressed as mean ± standard deviation.

موجود در عصاره، در انتخاب حلال نیز مؤثر هستند. همچنین، انتخاب حلال وابسته به عصاره مورد نیاز و ترکیباتی که لازم است در عصاره موجود باشند، نیز قرار می گیرد [۳۱].

مطالعه ها برای بررسی میزان لیگنین حاصل از چوب ذرت و مقایسه نتایج بسیار محدود است. روش جداسازی، استخراج و زمان برداشت بر میزان لیگنین اندام های مختلف گیاه ذرت مؤثر است. مقدار لیگنین ساقه ذرت (۲۰/۴۵ درصد) [۳۲]، برگ (۱۶ درصد) [۳۳]، پوسته (۷/۹ درصد) [۳۴]، دانه (۲۰/۳ درصد) [۳۵]، و ریشه (۱۷/۶ درصد) [۳۶]، گزارش شده است. همچنین، مقادیر متفاوتی برای میزان لیگنین چوب ذرت کشت شده در کشورهای مختلف گزارش شده است. مقدار لیگنین چوب ذرت کشت شده در ایتالیا، آمریکا، مالزی، ترکیه و چین به ترتیب ۴/۸، ۱۰/۳، ۱۱/۳، ۱۵/۵ و ۱۹/۶ درصد گزارش شده است [۳۷، ۳۸]. مقایسه نتایج این تحقیقات با نتایج پژوهش حاضر حاکی از بازده بالای استخراج لیگنین از زائدات ذرت داشته و با نتایج سایر محققین همخوانی دارد.

بازده استخراج عصاره بنه زعفران و لیگنین استخراج شده از ضایعات ذرت در این بررسی به ترتیب بیش از ۱۴ و ۱۷ درصد بود. استخراج موفقیت آمیز ترکیبات فعال بیولوژیکی تا حد زیادی به نوع حلال استفاده شده بستگی دارد. آب، الکل با زنجیره کوتاه (متانول تا هگزانول)، حلال های هالوژنه (کلروفرم، دی کلرومتان و کربن تتراکلرید)، کتون ها مانند استن و متیل ایزو بوتیل کتون، پیریدین، ۴،۱-دی اکسان، اتیل استات، دی اتیل اتر، پترولیوم اتر، هگزان و تولوئن حلال های معمولی هستند، که برای استخراج ترکیبات زیست فعال مختلف به کار می روند [۳۰]. ویژگی های یک حلال خوب برای تهیه عصاره عبارتند از: سمیت کم، سهولت تبخیر در حرارت کم، جذب فیزیولوژیک سریع عصاره، نقش محافظتی، عدم ایجاد مشکل برای جداسدن از عصاره. عواملی همانند میزان ترکیبات قابل استخراج، سرعت استخراج، تنوع ترکیبات مختلف استخراج، تنوع ترکیبات بازدارنده استخراج، سهولت به کارگیری عصاره، سمیت حلال در فرایند سنجش بیولوژیکی، خطرات بهداشتی بالقوه مواد

(۵۹/۴۲ درصد) بود و فرایند فراصوت در شدت ۱۰۰ درصد به مدت ۴۰ دقیقه بالاترین میزان ترکیبات فنلی (۸۲/۲۳ میلی گرم بر میلی لیتر) را استخراج نمود [۳۹]. لیگنین پلیمری متشکل از زیرواحدهای معطر با فعالیت آنتی اکسیدانی است [۴۰].

۳-۳- ویژگی نشاسته استخراج شده از ضایعات بنه زعفران ترکیب شیمیایی و بازده استخراج نشاسته حاصل از ضایعات بنه زعفران در جدول ۳ گزارش شده است.

قدرت ترکیبات آنتی اکسیدانی به روش‌های مختلفی اندازه‌گیری می‌شود.

آنتی اکسیدان‌هایی با قدرت احیاکنندگی آهن بالاتر از توانایی بیشتری در پایان دادن به واکنش‌های مخرب زنجیره‌ای رادیکالی برخوردارند. فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره بنه زعفران و لیگنین در بسیاری از تحقیق‌ها بیان شده است.

Ain Afshar (۲۰۱۸) گزارش نمود که عصاره استخراج شده از بنه زعفران با حلال اتانول دارای بیشترین ترکیبات فنلی (۸۵/۸۴ میلی گرم بر میلی لیتر)، قدرت مهارکنندگی آهن (۵۹۴/۷۴ میکرومول بر میلی لیتر) و گیرندگی رادیکال

Table 3 Physicochemical properties of starch extracted from saffron corm waste

property	* Saffron corm starch
Ash (g/100g)	0.16 ± 0.02
Protein (g/100g)	0.75 ± 0.04
Lipid (g/100g)	0.91 ± 0.03
Amylose (g/100g)	15.78 ± 2.03
Color indices	L*
	a*
	b*
Extraction yield (g/100g)	45.47 ± 2.14

*Data are the average of three replicates and are expressed as mean ± standard deviation.

انتخاب نشاسته روشن تر است و رنگدانه‌های موجود در گیاه و ترکیبات پلی فنلی نیز تأثیر قابل توجهی بر کیفیت نشاسته دارند. وجود رنگدانه در نشاسته در صورت انتقال به محصول نهایی، کیفیت و مقبولیت محصول را کاهش می‌دهد [۴۴].

مقدار L*، حدود ۸۹ برای نشاسته بامبو [۴۵] و ۸۳ تا ۹۰ برای نشاسته بلوط [۴۶] گزارش شده است. مقادیر L*، a* و b* برای پودر نشاسته در جدول ۳ مشاهده می‌شود. محتوا باقی مانده پروتئین بر مقدار L* و مقدار b* مؤثر است [۴۷].

۳-۴- ویژگی‌های سلولز و کربوکسی متیل سلولز حاصل از زائدات ذرت (چوب ذرت)

بازده استخراج سلولز از زائدات چوب ذرت، ۳۸/۴۳±۳/۵۰ درصد تعیین شد. ترکیب شیمیایی کربوکسی متیل سلولز تهیه شده از سلولز استخراجی در جدول ۴ گزارش شده است.

میزان خاکستر و پروتئین خام نمونه نشاسته به ترتیب از ۰/۱۶ و ۰/۷۵ درصد بود. کم بودن مقدار خاکستر و پروتئین موجود در نشاسته، نشان دهنده خلوص آن است. میزان آمیلوز نشاسته بنه زعفران برابر با ۱۵/۷۸ درصد بود. Esmacelian و همکاران (۲۰۲۲) میزان آمیلوز بنه را ۳۱/۶ درصد بیان کردند [۴۱].

مقدار آمیلوز بسته به شرایط رشد گیاه و باتوجه به گونه یا حتی رقم گیاه می‌تواند متفاوت باشد [۴۲]. آمیلوز به طور قابل توجهی بر خواص عملکردی نشاسته تأثیر می‌گذارد. میزان بالای آمیلوز بر حساسیت نسبت به بیاتی و خاصیت ارتجاعی بیشتر خمیر و ژل نشاسته تأثیر می‌گذارد [۴۳]. مقادیر L*، a* و b* برای پودر نشاسته بنه زعفران در جدول ۴ مشاهده می‌شود. اولویت مصرف کننده

Table 4 Characteristics of carboxymethyl cellulose from corncob waste cellulose.

property	carboxymethyl cellulose*
Ash (g/100g)	4.75 ± 0.75
Purity grades (%)	73.00 ± 2.42

Degree of substitution (%)		85.01 ± 2.37
Moisture (g/100g)		4.49 ± 0.75
Viscosity of 1% solution (cP)		10.74 ± 0.59
Color indices	L*	83.21 ± 0.852
	a*	0.25 ± 0.29
	b*	759 ± 1.56

*Mean ± standard deviation

کربوکسی متیل سلولز در جدول ۴ مشاهده می شود. درجه استخلاف عامل تأثیرگذار بر حلالیت کربوکسی متیل سلولز است که این عامل با تغییر غلظت سدیم هیدروکسید در مرحله تشکیل آلکانی سلولز، ارتباط مستقیم دارد. به دلیل وزن مولکولی بالاتر گروه های هیدروکسیلی اولیه در ساختار سلولز، افزایش وزن طی واکنش کربوکسی متیلاسیون ایجاد می شود. بنابراین هرچه درجه استخلاف افزایش یابد، بازده تولید کربوکسی متیل سلولز نیز افزایش می یابد. گرانیروی و درجه خلوص فراورده های کربوکسی متیل سلولز از مهم ترین عامل های تأثیرگذار بر دامنه کاربرد آن می باشند. درجه بلورینگی و درجه پلیمریزاسیون سلولز بر میزان کربوکسی متیل سلولز مؤثر است [۵۱].

۳-۵- پرتوسنجی تبدیل فوری زیرقرمز

طیف سنجی تبدیل فوری زیرقرمز به طور گسترده ای در مطالعه های ترکیبات مختلف مورد استفاده قرار می گیرد، زیرا روش ساده ای برای به دست آوردن اطلاعات در مورد تغییرات شیمیایی می باشد که در طول تیمار شیمیایی ممکن است ایجاد شود. برای اثبات انجام جایگزینی گروه های کربوکسی متیل روی سلولز و تولید کربوکسی متیل سلولز، از پرتوسنجی تبدیل فوری زیرقرمز استفاده شد و با طیف سنجی سلولز خالص مقایسه شد (شکل ۲).

بازده استخراج سلولز از ضایعات ذرت در حدود ۳۸ درصد بود. سلولز فراوان ترین پلیمر و رایج ترین ترکیب آلی است. حدود ۳۳ درصد از کل توده گیاه را سلولز به عنوان بخش عمده ای از دیواره سلولی را تشکیل می دهد. محتوا سلولز در پنبه، چوب، کاه گندم، کاه برنج، باگاس نیشکر، برگ درخت خرما، خاک اره و ضایعات ذرت به ترتیب ۹۰، ۴۰ تا ۵۰ و ۲۸ تا ۳۲، ۳۰ تا ۳۵، ۴۰ تا ۴۵، ۲۰ تا ۳۰ و ۳۵ تا ۴۵ و ۴۰ تا ۴۶ درصد گزارش شده است [۴۸]. باتوجه به اینکه میزان سلولز در چوب درختان گوناگون بین ۴۵ تا ۶۰ درصد می باشد، می توان گفت که مقدار سلولز موجود در منبع ضایعاتی چوب ذرت قابل رقابت با مقدار آن در چوب درختان می باشد. همچنین، مقادیر متفاوتی برای میزان سلولز چوب ذرت کشت شده در کشورهای مختلف گزارش شده است. مقدار سلولز در چوب ذرت کشت شده در کشورهای ایتالیا، ترکیه، آمریکا و مالزی به ترتیب ۳۶/۴، ۵۲، ۴۵/۲ و ۴۵/۹ درصد گزارش شده است [۴۹، ۳۷]. همچنین میزان سلولز چوب ذرت براساس رنگ آن متفاوت گزارش شده است. مقدار سلولز در چوب ذرت سفید و زرد نیجریه به ترتیب ۳۳/۶ و ۳۳/۱ درصد گزارش شده است [۵۰، ۳۸]. میزان استخلاف، میزان خلوص و گرانیروی محلول ۱ درصد

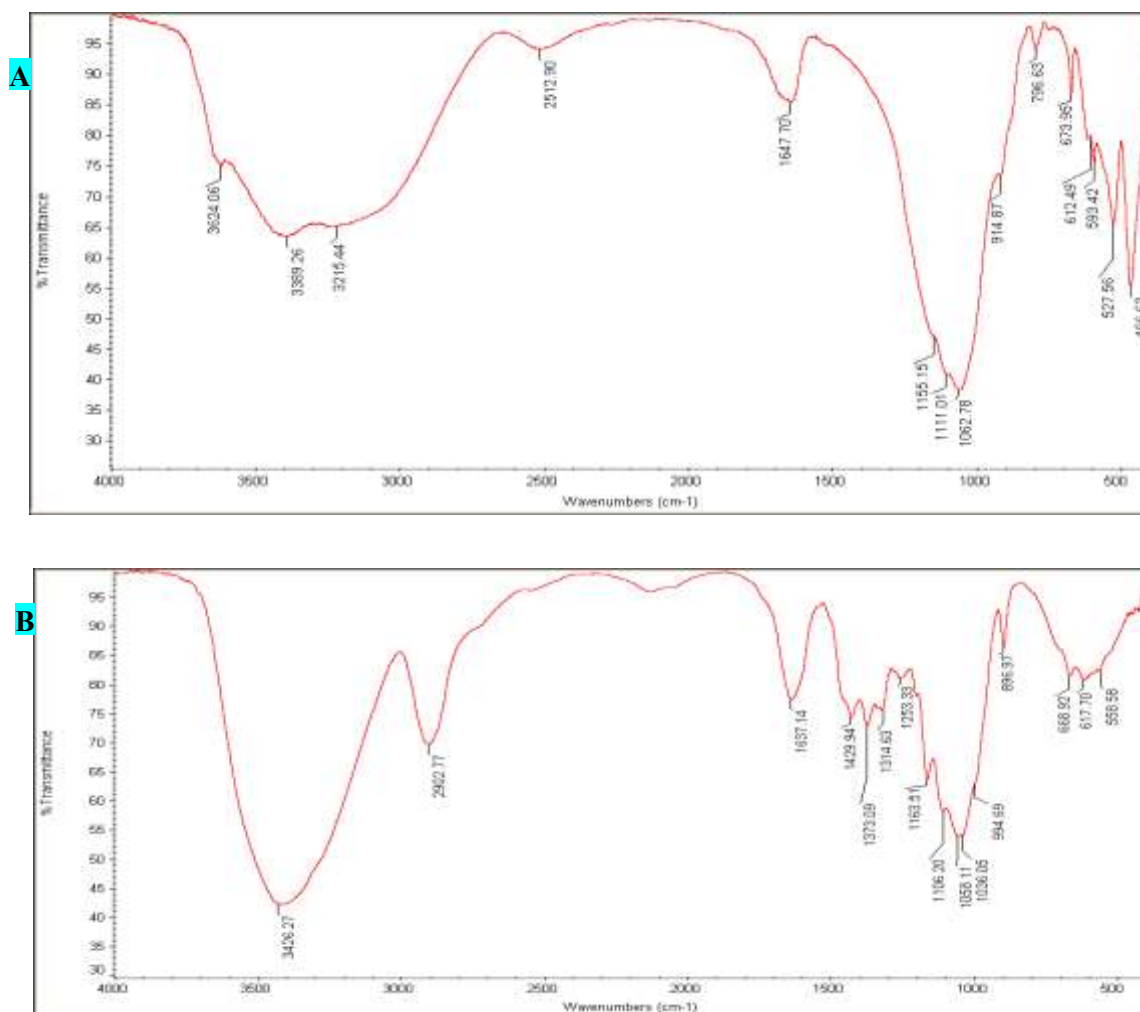


Fig 2 Fourier-transform infrared spectra of A: cellulose B: carboxymethyl cellulose from corn cob residues

الکل‌های اولیه باشد. همچنین باند جذبی مشاهده‌شده در عدد موجی ۱۰۶۲ بر سانتی‌متر پیوندهای C-O-C مشخصه ارتعاش حلقه پیرانوز سلولز را نشان می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج Reis و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی داشت آنها نیز در طیف‌سنجی میکروفیبریل‌های سلولز استخراج‌شده از قهوه، حضور پیک‌های مختلف را در اعداد موجی ۳۳۳۵، ۲۹۱۰، ۱۷۳۰، ۱۳۷۵، ۱۱۶۰ و ۱۰۲۰ بر سانتی‌متر گزارش کردند [۵۲]. بررسی طیف مادون قرمز کربوکسی‌متیل سلولز بیانگر باند پهن‌تر در محدوده عدد موجی ۳۴۲۶ بر سانتی‌متر و همچنین ظهور پیک‌هایی در محدوده اعداد موجی ۱۶۳۷ تا ۱۱۶۳ بر سانتی‌متر نسبت به طیف مادون قرمز سلولز می‌باشد. باند پهن‌تر در محدوده ۳۴۲۶ بر سانتی‌متر نشانگر افزایش گروه‌های هیدروکسیل در کربوکسی‌متیل سلولز

بررسی طیف مادون قرمز سلولز استخراج‌شده از زائدات ذرت نشان می‌دهد که مهم‌ترین پیک‌ها در اعداد موجی ۳۳۸۹، ۳۲۱۵، ۲۵۱۲، ۱۶۴۷، ۱۱۵۵-۱۱۱۱ و ۱۰۶۲ بر سانتی‌متر مشاهده شدند. پیک مشاهده‌شده در ۳۳۸۹ تا ۳۲۱۵ بر سانتی‌متر مربوط به کشش باند O-H آب جذب‌شده روی سلولز و همچنین پیوندهای هیدروژنی درون و بین مولکولی سلولز است. باند مشاهده‌شده در عدد موجی ۲۵۱۲ بر سانتی‌متر کشش نامتقارن پیوند C-H، موجود در سلولز و همی‌سلولز را نشان می‌دهد. کشش پیوند C=O گروه اتر موجود در همی‌سلولز در عدد موجی ۱۶۴۷ بر سانتی‌متر قابل مشاهده است. محدوده ۱۱۵۵ تا ۱۱۱۱ بر سانتی‌متر می‌تواند مربوط به تغییر شکل زاویه‌ای پیوندهای C-O

به ارتعاشات کششی کربونیل غیرمزدوج و کربنات مزدوج، به ترتیب گروه‌های کربوکسیل اسید و کتون است. پیک‌های ۱۶۰۳، ۱۵۱۳، و ۱۴۲۳ بر سانتی‌متر نشانگر ارتعاش حلقه‌های آروماتیک است. پیک در ۱۴۶۲ بر سانتی‌متر به خمش متوکسیل C-H و کشش C-C در اسکلت آروماتیک نسبت داده می‌شود. پیک‌های جذبی در ۱۱۶۷، ۱۱۲۸، و ۸۳۲ بر سانتی‌متر، واحدهای p-هیدروکسی فنیل پروپان (H)، سیرنجیل^{۱۴} (S) و گویاسیل^{۱۵} (G) را به ترتیب در HGS-لیگنین نشان می‌دهد. باندهای ۱۳۲۹ و ۱۲۶۰ بر سانتی‌متری به کشش آروماتیک C-O واحدهای S و/یا واحدهای G متراکم در G5 نسبت داده شدند (شکل ۳)، [۵۶].

نتایج بررسی طیف مادون قرمز سلولز، کربوکسی متیل سلولز و لیگنین استخراج شده از چوب دو نوع درخت (*Guazuma crinita* و *Calycophyllum spruceanum*) (Lam.) نیز با نتایج این پژوهش همخوانی داشت [۵۷]. این محققین تفاوت‌های جزئی در محدوده عدد موجی مربوط به باندها و گروه‌های مختلف را به تفاوت‌های جزئی موجود در ساختار این ترکیبات و همچنین روش و نحوه استخراج نسبت دادند.

نسبت به سلولز است. باند مربوط به ناحیه ۲۹۰۲ بر سانتی‌متر نیز حضور گروه متیل را نشان می‌دهد که در سلولز نیز در همان محدوده‌ها مشهود بود. پیک‌های مشاهده شده در اعداد موجی ۱۶۳۷ تا ۱۲۵۳ بر سانتی‌متر به دلیل حضور گروه کربوکسیل و نمک‌های آن است که جایگزینی گروه‌های کربوکسی متیل در ساختار سلولزی را تأیید می‌کند. نتایج پژوهش حاضر با نتایج Rahman و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت داشت [۵۳]. Li و همکاران (۲۰۱۹) همچنین باندهای جذبی قوی را در کربوکسی متیل سلولز حاصل از کاه گندم را در اعداد موجی ۱۶۰۵ و ۱۴۲۰ بر سانتی‌متر گزارش کردند [۵۴].

لیگنین، پلیمری آمورف متشکل از واحدهای فنیل پروپان است و پیش‌سازهای آن سه الکل پی-کوماریل، کونیفریل و سیناپیل هستند که وظیفه اصلی آن تقویت ساختار گیاه، نفوذپذیری، مقاومت در برابر حمله‌های میکروبی و تنش‌های اکسایشی است [۵۵].

شکل ۳ طیف مادون قرمز لیگنین را نشان می‌دهد. باند جذبی پهن در عدد موجی ۳۴۱۳ بر سانتی‌متر به ارتعاش کششی O-H نسبت داده می‌شود، درحالی‌که باند مشاهده شده در ۲۹۳۴ بر سانتی‌متر به ارتعاش متقارن C-H گروه متیلن (-CH₂) اختصاص دارد. پیک‌های ۱۷۰۹ و ۱۶۳۱ بر سانتی‌متر مربوط

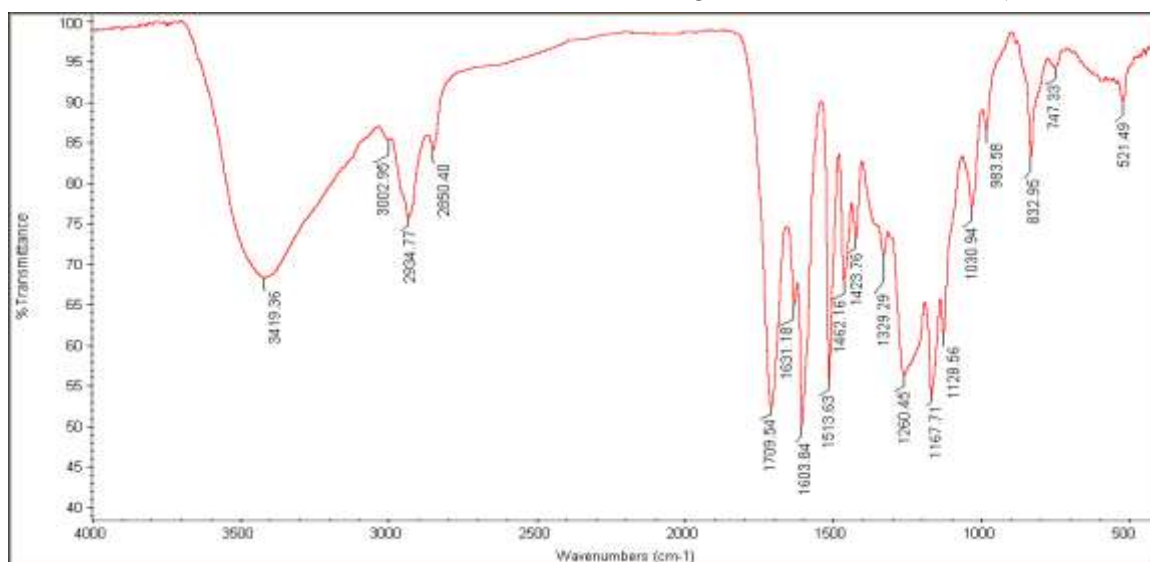


Fig 3 Fourier-transform infrared spectra of Lignin extracted from corncob waste

کشش پیوند $C=O$ بود [۵۸]. محدوده ۱۲۰۰ تا ۱۰۰۰ بر سانتی‌متر تحت عنوان قله کربوهیدراتی شناخته‌شده و متأثر از ارتعاشات گلوکز به عنوان واحد سازنده نشاسته و آرایش زنجیره آن، مانند تشکیل مارپیچ دوگانه و ناحیه کریستالی، شدت جذب در این ناحیه را تغییر می‌دهد. سه پیک اصلی در این ناحیه ناشی از ارتعاشات کششی پیوند $C-O-C$ پیوند گلیکوزیدی و $H-O-C$ در مجاورت این پیوند بود. همچنین پیک مشاهده‌شده در عدد موجی ۸۵۵ بر سانتی‌متر مربوط به پیوندهای آلفای آنومریک می‌باشد که پیوند اصلی در تشکیل پلیمرهای آمیلوز و آمیلوپکتین است [۶۰].

طیف‌سنجی فوری زیرقرمز می‌تواند روش مناسبی برای آشکارسازی درجه نظم در نشاسته از طریق مطالعه انتقالات بی‌نظمی به نظم در واکنش رتروگراداسیون نشاسته باشد. گزارش شده است که پیک در عدد موجی ۱۰۴۷ بر سانتی‌متر به نظم یا نشاسته کریستالی حساس است، درحالی‌که باند جذبی در ۱۰۲۲ بر سانتی‌متر به ساختار بی‌شکل (آمورف) در نشاسته مربوط می‌شود. بنابراین شدت نسبت اعداد موجی ۱۰۴۷ به ۱۰۲۲ بر سانتی‌متر می‌تواند میزان نشاسته کریستالی (منظم) به آمورف را نشان دهد [۶۱].

به منظور مقایسه ساختار مولکولی نشاسته حاصل از بنه زعفران مورد بررسی، طیف مادون قرمز نمونه‌ها تهیه شد که در شکل ۴ ارائه شده است. طیف مادون قرمز، شامل سه ناحیه اصلی بود که البته پیک‌هایی خارج از این نواحی نیز مشاهده شد. ناحیه اصلی اول (۳۶۰۰ تا ۳۰۰۰ بر سانتی‌متر) که پیک اصلی بزرگ سمت چپ نمودار، مربوط به کشش متقارن و غیرمتقارن گروه عاملی هیدروکسیل بود که به دلیل فراوانی این گروه عاملی در مولکول‌های سازنده نشاسته و همچنین حضور مولکول‌های آب باندشده، جذب گسترده‌ای در این ناحیه مشاهده شد [۵۸]. ناحیه اصلی دوم (۳۰۰۰ تا ۲۸۰۰ بر سانتی‌متر) مرتبط با کشش نامتقارن پیوند $-CH$ بود و باتوجه به حضور گسترده مولکول گلوکز در ساختمان نشاسته، این پیک مشاهده شد. پیک ناحیه ۱۷۰۰ تا ۱۶۰۰ بر سانتی‌متر ناشی از خمش مولکول‌های آب جذب‌شده در ناحیه آمورف نشاسته بود (شکل ۴). افزایش نسبت ناحیه کریستالی سبب کاهش شدت پیک در این ناحیه می‌گردد [۵۹]. ناحیه سوم (۸۰۰ تا ۱۵۰۰ بر سانتی‌متر) که به عنوان ناحیه اثرانگشت شناخته می‌شود، از چند بخش تشکیل شده است. بخش ۱۵۰۰ تا ۱۳۰۰ بر سانتی‌متر شامل پیک‌هایی مرتبط با تاشدن پیوند $-CH$ ، خمش پیوند $-CH_2$ و

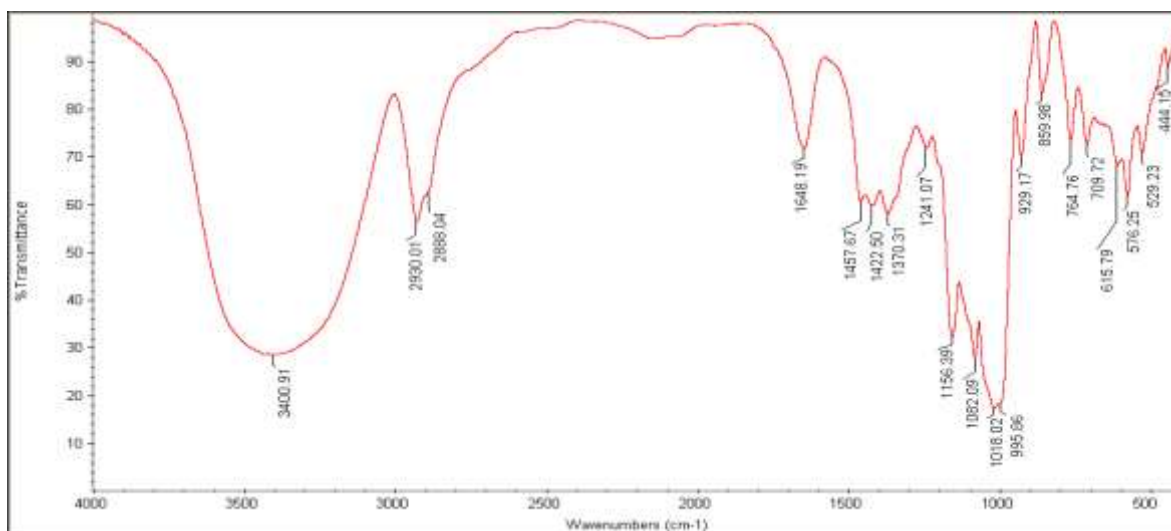


Fig 4 Fourier-transform infrared spectra of starch extracted from saffron corm

بنه زعفران و لیگنین احتمالاً به دلیل ترکیبات فنلی موجود در آن است. ترکیبات فنلی نقش مهمی در جلوگیری از رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها دارند و میزان تأثیر این ترکیبات بسته به نوع ترکیبات فنلی، غلظت ترکیبات فنلی، روش عصاره‌گیری و حلال مورد استفاده برای عصاره‌گیری و غیره متفاوت است [۶۲]. حداقل غلظت ممانعت‌کنندگی و حداقل غلظت قارچ‌کشی لیگنین پایین‌تر از عصاره بنه زعفران بود. باتوجه به بالا بودن میزان ترکیبات فنلی لیگنین نسبت به عصاره بنه زعفران، نتیجه دور از انتظار نبود.

۳-۶-۱- بررسی اثر ضد میکروبی عصاره بنه زعفران و لیگنین

۳-۶-۱-۱- نتایج روش ریزرت‌سازی

نتایج حداقل غلظت ممانعت‌کنندگی و حداقل غلظت قارچ‌کشی عصاره بنه زعفران و لیگنین بر کپک‌های *آسپرژیلوس فلاووس* و *آسپرژیلوس پارازیتیکوس* در جدول ۵ نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، هر دو ترکیب فعال دارای فعالیت ضد قارچی بودند. اثر ضد قارچی عصاره

Fig 5 Antimicrobial power based on minimal inhibitory concentration and minimal fungicidal concentration (mg/l)

Type of antimicrobial active compound		Type of microorganism	
		<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Aspergillus parasiticus</i>
Saffron corm extract	minimal inhibitory concentration	0.25	0.03125
	Minimal Fungicidal Concentration	>0.5	> 0.5
Lignin	minimal inhibitory concentration	0.00019	0.00039
	Minimal Fungicidal Concentration	> 0.05	> 0.05

آسپرژیلوس پارازیتیکوس به روش نفوذ در دیسک روی محیط کشت پوتیتودکستروز آگار در شکل ۵ نشان داده شده است.

۳-۶-۲- نتایج روش نفوذ در دیسک

تأثیر ضد قارچی عصاره بنه زعفران و لیگنین حاصل از چوب ذرت (غلظت‌های ۰/۵ و ۰/۰۵ میلی گرم در لیتر) بر کپک

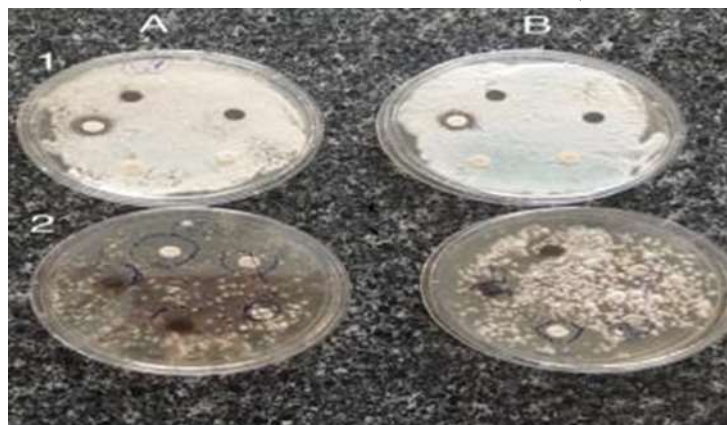


Fig 5 The inhibition halo of saffron corm extract and lignin (Concentrations of 0.5 and 0.05 mg/l) on *Aspergillus parasiticus* (1 and 2 respectively the concentrations of 10^6 and 10^3 colony forming units per gram of *Aspergillus parasiticus* and A and B respectively lignin and saffron corm extract)

حل نمودن ترکیبات فعال، بر میانگین قطر هاله عدم رشد کپک

آسپرژیلوس فلاووس و *q* را نشان می‌دهد.

جدول ۶، اثر عصاره بنه زعفران و لیگنین در مقایسه با قارچ‌کش کنوکنازول و حلال‌های مورد استفاده برای

Fig 6 The effect of saffroncorm extract and lignin in comparison with Ketoconazole on the average diameter of theinhibition halo (mm)

Material type	Type of microorganism	
	Aspergillus flavus	spergillus parastiticus
Saffron corm extract	13.75 ± 2.05 ^b	10.00 ± 1.41 ^b
Lignin	16.00 ± 1.63 ^b	9.50 ± 0.57 ^b
Ketoconazole (200 ppm)	20.50 ± 0.5 ^a	12.00 ± 1.00 ^a
Dimethyl sulfoxide	-	-
water	-	-

Data are the average of three replicates and are expressed as mean ± standard deviation.

Non-common letters in each column indicate a significant difference at the 5% level (Duncan's test, P<0.05).

۴- نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج نشان داد میزان ترکیبات فنلی و فعالیت گیرندگی رادیکال آزاد عصاره بنه زعفران و لیگنین به ترتیب ۱۳۷/۹۱ (میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک بنه) و ۲۹/۳۱ درصد و ۱۵۶/۶۹ (میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک چوب ذرت) و ۵۸/۸۵ درصد با بازده استخراج به ترتیب ۱۴/۵۶ و ۱۷/۳۲ درصد بود. میانگین قطر هاله عدم رشد کپک‌های آسپرژیلوس فلاووس و آسپرژیلوس پارازیتیکوس در اثر عصاره بنه زعفران و لیگنین به ترتیب ۱۳/۷۵ و ۱۰ میلی متر و ۱۶ و ۹/۵ میلی متر بود. نشاسته حاصل از بنه زعفران نیز دارای خصوصیات مطلوبی بود، به طوریکه محتوای پروتئین و خاکستر نشاسته بنه زعفران کم و به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۷۵ بود (نزدیک به نشاسته سیب زمینی و کمی کمتر از نشاسته برنج) کم بودن مقدار خاکستر و پروتئین موجود در نشاسته، نشان دهنده خلوص آن است. میزان آمیلوز نشاسته بنه زعفران برابر با ۱۵/۷۸ درصد بود. بازده استخراج سلولز از زائدات ذرت در حدود ۳۸ درصد بود و کربوکسی متیل تهیه شده از آن دارای درجه استخلاف ۸۵ بود که نشان دهنده بازده مطلوب تولید بود. برای اثبات انجام جایگزینی گروه‌های کربوکسی متیل بر روی سلولز و تولید کربوکسی متیل سلولز، از پرتوسنجی تبدیل فوریه زیر قرمز استفاده شد و با طیف سنجی سلولز خالص مقایسه شد. نتایج مویده جایگزینی

نتایج بیانگر اثرات ضدقارچی عصاره بنه زعفران و لیگنین بود. حلال‌های دی‌متیل سولفوکسید و آب هیچ‌گونه اثر ضدقارچی نداشتند. لیگنین دارای خاصیت ضدقارچی بیشتری نسبت به عصاره بنه زعفران بود و قطر هاله بازدارندگی رشد بیشتری نشان داد. همچنین، هر دو ترکیب فعال اثر ضدقارچی بیشتری بر علیه آسپرژیلوس پارازیتیکوس نشان دادند. اثر ضد میکروبی عصاره‌های گیاهی و لیگنین به حضور پلی فنول‌ها نسبت داده می‌شود [۶۳]. اثر عصاره‌های گیاهی به عنوان یک ماده ضد میکروبی به نوع پلی فنول از قبیل اسیدهای فنلی، فلاونوئیدها و تانین‌ها بستگی دارد. همچنین فعالیت ضد میکروبی ترکیبات فنلی تحت تأثیر موقعیت و تعداد گروه‌های هیدروکسیل است؛ زیرا این گروه‌ها با دیواره سلولی میکروب‌ها واکنش می‌دهند و سبب ایجاد اختلال در دیواره سلولی و نشت ترکیبات سلولی می‌شوند [۶۴]. Rubio-Moraga و همکاران (۲۰۱۳)، اثر ضدقارچی عصاره بخش داخلی و خارجی بنه زعفران بر علیه آسپرژیلوس نیجر، بیوپولاریس اسپی سی فرا، فوزاریوم اکسی اسپوروم، پنی سیلیوم ریستریکی و رایزوپوس نیگریکانس را گزارش نمودند. همچنین اثرات ضدباکتریایی لیگنین بر علیه باکتری‌های گرم مثبت (باسیلوس و کلبسیلا) و گرم منفی (اشریشیاکلی و استافیلوکوکس اورئوس) گزارش شده است [۳].

که لزوم توجه و سرمایه‌گذاری در این زمینه را بیش از پیش تاکید و یادآوری می‌کند.

۵- سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده به شماره قرارداد ۷۱۲/۱۴۰۲/۲۴۹ از محل اعتبارات پژوهشگاه زعفران دانشگاه تربت حیدریه می‌باشد.

گروه‌های کربوکسی‌متیل در ساختار سلولزی بود (مشاهده پیک در اعداد موجی ۱۶۳۷ تا ۱۲۵۳ بر سانتی‌متر که نشان‌دهنده حضور گروه کربوکسیل و نمک‌های آن است). هم‌چنین، پرتوسنجی تبدیل فوریه زیر قرمز نشاسته و لیگنین نیز موید ساختار منظم و منسجم این ترکیبات بود. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان گفت زائادات و ضایعات حاصل از ذرت و بنه زعفران منبعی ارزشمند و بالقوه برای تولید محصولات با ارزش افزوده بالا می‌باشند که سالانه مقدار قابل توجهی ارز برای ورود آنها به کشور هزینه می‌شود

۵-منابع

- [1] Ghorbani, M. (2008). The efficiency of saffron's marketing channel in Iran. *World Applied Sciences Journal*, 4(4), 523–527.
- [2] Serrano-Díaz, J., Sánchez, A. M., Maggi, L., Martínez-Tomé, M., García-Diz, L., Murcia, M. A., & Alonso, G. L. (2012). Increasing the applications of *Crocus sativus* flowers as natural antioxidants. *Journal of Food Science*, 77(11), C1162–C1168.
- [3] Rubio-Moraga, Á., Gómez-Gómez, L., Trapero, A., Castro-Díaz, N., & Ahrazem, O. (2013). Saffron corm as a natural source of fungicides: The role of saponins in the underground. *Industrial Crops and Products*, 49, 915–921.
- [4] Sawyer, J., & Mallarino, A. (2007). *Nutrient removal when harvesting corn stover*.
- [5] Ahmadi, K., Ebadzadeh, H., Hatami, F., Hosseinpour, R., Abdshah, H. (2019). Agricultural statistics of 2018. First edition. Information and Communication Technology Center of the Ministry of Agricultural Jihad. pages 158.
- [6] Smith, G. M. (2003). *Film structure and the emotion system*. Cambridge University Press.
- [7] Perumal, A. B., Nambiar, R. B., Sellamuthu, P. S., Sadiku, E. R., Li, X., & He, Y. (2022). Extraction of cellulose nanocrystals from areca waste and its application in eco-friendly biocomposite film. *Chemosphere*, 287, 132084.
- [8] Razali, N. A. M., Mohd Sohaimi, R., Othman, R. N. I. R., Abdullah, N., Demon, S. Z. N., Jasmani, L., ... & Halim, N. A. (2022). Comparative study on extraction of cellulose fiber from rice straw waste from chemo-mechanical and pulping method. *Polymers*, 14(3), 387.
- [9] Fronza, P., Costa, A. L. R., Franca, A. S., & de Oliveira, L. S. (2023). Extraction and characterization of starch from cassava peels. *Starch-Stärke*, 75(3-4), 2100245.
- [10] AOAC. 2005. Official methods of analysis (18th ed.) Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
- [11] Zeković, Z., Vidović, S., Vladić, J., Radosavljević, R., Cvejin, A., Elgndi, M. A., & Pavlić, B. (2014). Optimization of subcritical water extraction of antioxidants from *Coriandrum sativum* seeds by response surface methodology. *The Journal of Supercritical Fluids*, 95, 560-566.
- [12] Niazmand, R., & Razavizadeh, B. M. (2021). *Ferula asafoetida*: chemical composition, thermal behavior, antioxidant and antimicrobial activities of leaf and gum hydroalcoholic extracts. *Journal of Food Science and Technology*, 58(6), 2148–2159.
- [13] Sánchez-Vioque, R., Rodríguez-Conde, M. F., Reina-Ureña, J. V., Escolano-Tercero, M. A., Herraiz-Peñalver, D., & Santana-Méridas, O. (2012). In vitro antioxidant and metal chelating properties of corm, tepal and leaf from saffron (*Crocus sativus* L.). *Industrial Crops and Products*, 39, 149–153.
- [14] Fu, Z., Wang, L., Li, D., Wei, Q., & Adhikari, B. (2011). Effects of high-pressure homogenization on the properties of starch-plasticizer dispersions and their films. *Carbohydrate Polymers*, 86(1), 202–207.
- [15] Razmavar, S., Abdulla, M. A., Ismail, S. B., & Hassandarvish, P. (2014). Antibacterial activity of leaf extracts of *Baeckea frutescens* against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *BioMed Research International*, 2014(1), 521287.
- [16] Niazmand, R., Razavizadeh, B. M., & Sabbagh, F. (2022). Simulating release model and antimicrobial efficiency of LDPE film carrying *ferula asafoetida* leaf and gum extracts. *Polymer Bulletin*, 79(2), 1151–1174.
- [17] Aprianita, A., Purwandari, U., Watson, B., & Vasiljevic, T. (2009). Physico-chemical properties of flours and starches from selected commercial tubers available in Australia. *International Food Research Journal*, 16(4), 507–520.
- [18] Joshi, M., Aldred, P., McKnight, S., Panozzo, J. F., Kasapis, S., Adhikari, R., & Adhikari, B.

- (2013). Physicochemical and functional characteristics of lentil starch. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1484–1496.
- [19] Hoover, R., & Ratnayake, W. S. (2001). Determination of total amylose content of starch. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1, E2-3.
- [20] Karimi, M., Fathi, M., Sheykholeslam, Z., Sahraiyani, B., & Naghipoor, F. (2012). Effect of different processing parameters on quality factors and image texture features of bread. *J Bioprocess Biotech*, 2, 2–7.
- [21] Fukushima, R. S., & Hatfield, R. D. (2001). Extraction and isolation of lignin for utilization as a standard to determine lignin concentration using the acetyl bromide spectrophotometric method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7), 3133–3139.
- [22] Arapoglou, D., Varzakas, T., Vlyssides, A., & Israilides, C. (2010). Ethanol production from potato peel waste (PPW). *Waste Management*, 30(10), 1898–1902.
- [23] Dinand, E., Vignon, M., Chanzy, H., & Heux, L. (2002). Mercerization of primary wall cellulose and its implication for the conversion of cellulose I → cellulose II. *Cellulose*, 9, 7–18.
- [24] Chen, D., Lawton, D., Thompson, M. R., & Liu, Q. (2012). Biocomposites reinforced with cellulose nanocrystals derived from potato peel waste. *Carbohydrate Polymers*, 90(1), 709–716.
- [25] Mondal, M. I. H., Yeasmin, M. S., & Rahman, M. S. (2015). Preparation of food grade carboxymethyl cellulose from corn husk agrowaste. *International Journal of Biological Macromolecules*, 79, 144–150.
- [26] Khullar, R., Varshney, V. K., Naithani, S., Heinze, T., & Soni, P. L. (2005). Carboxymethylation of cellulosic material (average degree of polymerization 2600) isolated from cotton (*Gossypium*) linters with respect to degree of substitution and rheological behavior. *Journal of applied polymer science*, 96(4), 1477–1482.
- [27] ASTM. 1973. Standard Methods of Testing Sodium Carboxymethyl Cellulose. D1439-72. pp. 104–113.
- [28] Ghorbanpour, M., Moghimi, M., & Lotfiman, S. (2017). Silica-supported copper oxide nanoleaf with antimicrobial activity against *Escherichia coli*. *Journal of Water and Environmental Nanotechnology*, 2(2), 112–117.
- [29] Chrungoo, N. K., & Farooq, S. (1985). Correlative changes in carbohydrate content and starch hydrolysing enzymes in corms of saffron crocus (*Crocus sativus* L.) during dormancy and sprouting. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 180(1), 55–61.
- [30] Handa, S. S. (2008). An overview of extraction techniques for medicinal and aromatic plants. *Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants*, 1(1), 21–40.
- [31] E Garcia-Vaquero, M., Rajauria, G., & Tiwari, B. (2020). Conventional extraction techniques: Solvent extraction. In *Sustainable seaweed technologies* (pp. 171–189). Elsevier.
- [32] Wang, Y., Liu, W., Zhang, L., & Hou, Q. (2019). Characterization and comparison of lignin derived from corncob residues to better understand its potential applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 20–27.
- [33] Lee, B.-R., Kim, K.-Y., Jung, W.-J., Avicé, J.-C., Ourry, A., & Kim, T.-H. (2007). Peroxidases and lignification in relation to the intensity of water-deficit stress in white clover (*Trifolium repens* L.). *Journal of Experimental Botany*, 58(6), 1271–1279.
- [34] Mendes, J. F., Paschoalin, R. T., Carmona, V. B., Neto, A. R. S., Marques, A. C. P., Marconcini, J. M., Mattoso, L. H. C., Medeiros, E. S., & Oliveira, J. E. (2016). Biodegradable polymer blends based on corn starch and thermoplastic chitosan processed by extrusion. *Carbohydrate Polymers*, 137, 452–458.
- [35] Rivas, B., Dominguez, J. M., Dominguez, H., & Parajó, J. C. (2002). Bioconversion of posthydrolysed autohydrolysis liquors: an alternative for xylitol production from corn cobs. *Enzyme and Microbial Technology*, 31(4), 431–438.
- [36] Machinet, G. E., Bertrand, I., Barrière, Y., Chabbert, B., & Recous, S. (2011). Impact of plant cell wall network on biodegradation in soil: role of lignin composition and phenolic acids in roots from 16 maize genotypes. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(7), 1544–1552.
- [37] Shariff, A., Aziz, N. S. M., Ismail, N. I., & Abdullah, N. (2016). Corn cob as a potential feedstock for slow pyrolysis of biomass. *J. Phys. Sci*, 27(2), 123–137.
- [38] Ogunjobi, J. K., & Lajide, L. (2013). Characterisation of bio-oil and bio-char from slow-pyrolysed Nigerian yellow and white corn cobs. *J. Sustain. Energy Environ*, 4(2), 77–84.
- [39] Ain Afshar, S. (2018). Investigating the effect of extraction method (solvent, solvent-ultrasound) on antioxidant and antimicrobial activity of saffron onion extract. Agricultural Engineering and Technical Research Institute, publication number 56037. Iran Polymer website. (1403).
- [40] Dizhbite, T., Telysheva, G., Jurkane, V., & Viesturs, U. (2004). Characterization of the radical scavenging activity of lignins—natural antioxidants. *Bioresource Technology*, 95(3), 309–317.
- [41] Esmaeliani, M., Jahani, M., Feizy, J., & Einafshar, S. (2023). Physicochemical and

- Functional Characteristics of Saffron (*Crocus sativus* L.) Corm Starch: Gelling and Film-Forming Properties. *Food Biophysics*, 18(1), 82-94.
- [42] Przetaczek-Rożnowska, I. (2017). Physicochemical properties of starches isolated from pumpkin compared with potato and corn starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 536-542.
- [43] Bello-Pérez, L. A., Agama-Acevedo, E., Zamudio-Flores, P. B., Mendez-Montealvo, G., & Rodriguez-Ambriz, S. L. (2010). Effect of low and high acetylation degree in the morphological, physicochemical and structural characteristics of barley starch. *LWT-Food Science and Technology*, 43(9), 1434-1440.
- [44] Ali, A., Wani, T. A., Wani, I. A., & Masoodi, F. A. (2016). Comparative study of the physicochemical properties of rice and corn starches grown in Indian temperate climate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(1), 75-82.
- [45] Felisberto, M. H. F., Beraldo, A. L., Costa, M. S., Boas, F. V., Franco, C. M. L., & Clerici, M. T. P. S. (2019). Physicochemical and structural properties of starch from young bamboo culm of *Bambusa tuldoidea*. *Food Hydrocolloids*, 87, 101-107.
- [46] Coria-Hernández, J., López-Figueroa, L. R., Méndez-Albores, A., Arjona-Román, J. L., & Meléndez-Pérez, R. (2023). Novel Waxy Starch Cryostructured Coatings Applied on Commercial Crackers. *Starch-Stärke*, 75(9-10), 2200276.
- [47] Paraginski, R. T., Vanier, N. L., Berrios, J. D. J., de Oliveira, M., & Elias, M. C. (2014). Physicochemical and pasting properties of maize as affected by storage temperature. *Journal of Stored Products Research*, 59, 209-214.
- [48] Mandal, A., & Chakrabarty, D. (2011). Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization. *Carbohydrate Polymers*, 86(3), 1291-1299.
- [49] Menardo, S., Airolidi, G., Cacciatore, V., & Balsari, P. (2015). Potential biogas and methane yield of maize stover fractions and evaluation of some possible stover harvest chains. *Biosystems engineering*, 129, 352-359.
- [50] Liu, X., Zhang, Y., Li, Z., Feng, R., & Zhang, Y. (2014). Characterization of corncob-derived biochar and pyrolysis kinetics in comparison with corn stalk and sawdust. *Bioresour technology*, 170, 76-82.
- [51] Barba, C., Montané, D., Rinaudo, M., & Farriol, X. (2002). Synthesis and characterization of carboxymethylcelluloses (CMC) from non-wood fibers I. Accessibility of cellulose fibers and CMC synthesis. *Cellulose*, 9, 319-326.
- [52] Reis, A. M. S., Vieira, A. T., Santos, A. L., Ferreira, M. V., Batista, A. C., Assunção, R. M., ... & Faria, A. M. (2020). Regenerated cellulose membrane from peanut shell for biodiesel purification. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 31(5), 1011-1020.
- [53] Rahman, M. M., Alam, M., Rahman, M. M., Susan, M. A. B. H., Shaikh, M. A. A., Nayeem, J., & Jahan, M. S. (2022). A novel approach in increasing carboxymethylation reaction of cellulose. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 4, 100236.
- [54] Li, H., Zhang, H., Xiong, L., Chen, X., Wang, C., Huang, C., & Chen, X. (2019). Isolation of cellulose from wheat straw and its utilization for the preparation of carboxymethyl cellulose. *Fibers and Polymers*, 20, 975-981.
- [55] Stewart, D. (2008). Lignin as a base material for materials applications: Chemistry, application and economics. *Industrial Crops and Products*, 27(2), 202-207.
- [56] Shi, Z., Xu, G., Deng, J., Dong, M., Murugadoss, V., Liu, C., Shao, Q., Wu, S., & Guo, Z. (2019). Structural characterization of lignin from *D. sinicus* by FTIR and NMR techniques. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 12(3), 235-243.
- [57] Javier-Astete, R., Jimenez-Davalos, J., & Zolla, G. (2021). Determination of hemicellulose, cellulose, holocellulose and lignin content using FTIR in *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) K. Schum. and *Guazuma crinita* Lam. *PLoS One*, 16(10), e0256559.
- [58] Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. do A., & Menegalli, F. C. (2012). Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Starch-Stärke*, 64(5), 382-391.
- [59] Andrade-Mahecha, M. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. (2012). Physical-chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin. *Starch-Stärke*, 64(5), 348-358.
- [60] Pascoal, A. M., Di-Medeiros, M. C. B., Batista, K. A., Leles, M. I. G., Lião, L. M., & Fernandes, K. F. (2013). Extraction and chemical characterization of starch from *S. lycocarpum* fruits. *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1304-1310.
- [61] Pourfarzad, A., Yousefi, A., & Ako, K. (2021). Steady/dynamic rheological characterization and FTIR study on wheat starch-sage seed gum blends. *Food Hydrocolloids*, 111, 106380.
- [62] Das, K., Tiwari, R. K. S., & Shrivastava, D. K. (2010). Techniques for evaluation of medicinal plant products as antimicrobial agent: Current methods and future trends. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(2), 104-111.
- [63] Sanhueza, S. V., Friz Carrillo, M. C., & Quintriqueo Millán, S. (2014). Estudio exploratorio sobre las actitudes y comportamiento del profesorado de Chile en contextos de

- escolarización de alumnado inmigrante. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 16(3), 148–162.
- [64] Xu, S., Shang, M. Y., Liu, G. X., Xu, F., Wang, X., Shou, C. C., & Cai, S. Q. (2013). Chemical constituents from the rhizomes of *Smilax glabra* and their antimicrobial activity. *Molecules*, 18(5), 5265-5287.



Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Investigating the characteristics of lignin, carboxymethyl cellulose and starch extracted from residues of corn and

Razieh Nimazam^{1*}; Parvin Sharayee^{2*}; Vahideh Sharif³; Mahboobeh Sarabi Jamab⁴;
Soudabeh Ain Afshar²; Elham Azarpajouh²; Farzaneh Sharif³

1-Food Chemistry Department, Food Science and Technology Research Institute, Mashhad, Iran.

2-Agricultural Engineering and Technical Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Khorasan Razavi Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran.

3-Saffron Research Institute, Torbat Heydariyeh University, Torbat Heydariyeh, Iran.

4-Food Biotechnology Department, Food Science and Technology Research Institute, Mashhad, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2024/11/21

Accepted: 2025/07/03

Keywords:

Saffron corm,
corn cob waste,
lignin, starch,
carboxymethyl cellulose.

DOI: 10.48311/fsct.2025.83929.0.

*Corresponding Author E-

r.niazmand@rifst.ac.ir

parvin_sharayei@yahoo.com

This research aimed to produce high value-added products, including starch and carboxymethyl cellulose from saffron corms and corncob waste respectively, as well as active extracts from saffron corms and lignin from corncob residues. In this study, the extraction yield, antioxidant capacity, and antifungal properties of extracts obtained from saffron corms and lignin produced from corncob waste, along with the physicochemical properties of starch derived from saffron corms and carboxymethyl cellulose produced from corncob residues were investigated. The extraction yields of saffron corm extract and lignin from corn residues were more than 14% and 17%, respectively. The phenolic content and radical scavenging activity of the saffron corm extract were 137.91 mg per 100 g dry weight and 29.31%, while for corn lignin, they were 156.69 mg per 100 g dry weight and 58.85%, respectively. The saffron corm extract and lignin exhibited antifungal activity but the minimal inhibitory concentration (MIC) and minimal fungicidal concentration (MFC) of lignin were lower than those of the saffron corm extract due to the higher content of phenolic compounds in lignin. The ash and protein content of starch obtained from saffron onion was 0.16 and 0.75%, respectively, which is close to potato starch. The extraction yield of cellulose from corn wood residues was 38.43%, and the purity grade and degree of substitution of the carboxymethyl cellulose prepared from it were 73% and 85%, respectively. The results obtained from Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) confirmed the formation of carboxymethyl cellulose from cellulose extracted from corn wood. According to the results of the present study, it can be said that food waste and residues can be used as sustainable and low-cost resources for the production of valuable products such as cellulose and starch with industrial applications.