



## بررسی برهم کنش صمغ فیر ذرت با آنزیم $\alpha$ -آمیلاز و $\alpha$ -گلوکوزیداز و تاثیر آن بر فعالیت ممانعت کنندگی آنزیم‌ها

روح الله اجتماعی<sup>۱</sup>، حسن احمدی گاولیقی<sup>۲\*</sup>، مریم جلیلی صفریان<sup>۳</sup>، مهدی طبرسا<sup>۴</sup>

۱- کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- مرکز تحقیقات مواد طبیعی و گیاهان دارویی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۴- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۵- دانشیار، گروه فراوری محصولات شیلاتی، دانشکده علوم دریایی، دانشکده تربیت مدرس، نور، ایران.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

بیشترین ترکیب جانبی حاصل از فراوری ذرت در صنعت تولید نشاسته از ذرت، سبوس می‌باشد که فقط به صورت غذای دام از آن استفاده می‌شود. در این مطالعه خواص ضد اکسایشی و ضد دیابتی صمغ فیر ذرت دارای فنل (FAX) و بدون فنل (Y) از سبوس ذرت مورد بررسی قرار گرفت. همچنین جهت بررسی سازوکار ممانعت کنندگی دو آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز و  $\alpha$ -گلوکوزیداز، میزان شدت فلونورسانس ذاتی و خارجی اندازه گیری شد. نتایج نشان داد بیشترین خاصیت مهارکنندگی رادیکال DPPH مربوط به فیر FAX  $0.399 \mu\text{molTE/g} \pm$  می‌باشد.  $0.257 \mu\text{molTE/g} \pm$  و کمترین مربوط به فیر استخراج شده Y  $0.73 \pm$  می‌باشد. همچنین نتایج فعالیت مهارکنندگی رادیکال کاتیونی ABTS مربوط به نمونه FAX برابر با  $2.99 \mu\text{molTE/g} \pm$  و نمونه Y  $1.17 \mu\text{molTE/g} \pm$  بود. میزان مهار کنندگی فعالیت آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز خوکی نمونه FAX بیشتر از Y بوده و اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند ( $p < 0.05$ ). نمونه فیر FAX بیش‌ترین تاثیر را بر مهار فعالیت آنزیم گلوکوزیداز موشی داشت (۲۶/۱۵ درصد) در حالیکه نمونه Y در غلظت‌های استفاده شده فاقد خاصیت مهار آنزیم بود. همچنین کاهش شدت فلونورسانس در اثر افزودن غلظت‌های مختلف هردو فیر به آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز و  $\alpha$ -گلوکوزیداز مشاهده شد ولی این شدت برای نمونه FAX بیشتر بود. فیبرهای تولیدی توانایی مهار کنندگی هر دو آنزیم را از طریق ایجاد تغییر در ساختمان سوم آنزیم به وسیله پیوندهای غیرکوالانسی را داشتند. بطور کلی نتایج نشان داد که فیر با میزان فنل بالا از سبوس ذرت می‌تواند به عنوان یک منبع طبیعی دارای فعالیت ضد اکسایشی و مهار فعالیت آنزیم های  $\alpha$ -آمیلاز و  $\alpha$ -گلوکوزیداز محسوب شده و در تولید مواد غذایی فراسودمند مورد استفاده قرار گیرد.

### تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶

### کلمات کلیدی:

سبوس ذرت،

استخراج،

صمغ فیر ذرت،

ضد دیابتی،

ترکیبات فنلی.

DOI: 10.22034/FSCT.19.132.51

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.132.4.7

\* مسئول مکاتبات:

Ahmadi\_ha@modares.ac.ir

## ۱- مقدمه

با افزایش سن انسان، احتمال ابتلا به بیماری‌های مزمن مانند بیماری‌های قلبی عروقی، بیماری‌های عصبی، دیابت نوع ۲ و انواع مختلف سرطان، افزایش می‌یابد [۱]. رژیم غذایی تا حد زیادی به بهبود طیف گسترده‌ای از بیماری‌ها کمک می‌کند [۲]. غذاهای فراسودمند و غذا داروها به سبب حضور ترکیبات فعال زیستی با مزایای سلامت بخش، کلید حفظ سلامت و پیشگیری از بیماری‌های مزمن مرتبط با رژیم غذایی و کاهش هزینه مراقبت‌های بهداشتی هستند. از طرفی توسعه ترکیبات طبیعی و زیست فعال ایمن از منابع مختلف با پتانسیل خطر کمتر نسبت به مواد سنتزی که می‌تواند برای جلوگیری یا درمان چندین بیماری استفاده شود، توجه بیشتری به خود جلب کرده است. بنابراین علاقه فراوانی به پژوهش در مورد ترکیباتی که بتوانند به عنوان مواد غذایی فراسودمند، غذا دارو یا دارو مورد استفاده قرار گیرند، وجود دارد [۳].

کربوهیدرات‌ها مهم‌ترین منبع انرژی غذایی است که بخش قابل توجهی از کل غذای مصرفی را تشکیل می‌دهند. هم‌اکنون، تمرکز پژوهش‌ها، بر نقش مصرف کربوهیدرات‌های رژیم غذایی و ارتباط آن با چاقی، مقاومت به انسولین، سندرم متابولیک، عملکرد قلب و گردش خون است. در واقع مصرف رژیم‌های غذایی دارای شاخص گلیسمی پایین با کاهش خطر بیماری‌های مزمن مانند دیابت و بیماری‌های قلبی-عروقی و حفظ وزن مطلوب بدن در ارتباط است. بنابراین یافتن غذاهایی با شاخص گلیسمی پایین و همچنین یافتن عواملی که بتواند شاخص گلیسمی غذا را کاهش دهد، مورد توجه قرار گرفته است [۴]. دیابت، مجموعه‌ای از بیماری‌های متابولیکی است که توسط قند خون بالا (هیپرگلیسمی)، اختلال در متابولیسم کربوهیدرات، چربی و پروتئین، نقص در ترشح انسولین، تأثیر انسولین یا هر دو مشخص می‌شود [۵]. یکی از رویکردهای مهم برای کاهش قند خون پس از مصرف غذا، کاهش یا کند کردن هضم و جذب کربوهیدرات رژیم غذایی است [۶]. نقش آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز بعد از مصرف غذا پر رنگ می‌شود به صورتیکه پلی‌ساکاریدهای موجود در غذا مثل گلیکوژن، نشاسته و... را به وسیله شکستن از پیوند بتا (۱و۴) تبدیل به گلوکز کرده و سبب افزایش قند خون بدن

می‌شود. امروزه بازدارندگی از فعالیت این آنزیم یکی از چالش‌های موجود در مقابله با بیماری دیابت می‌باشد [۷]. در مطالعه‌ای اثر بازدارندگی پلی فنل‌های چای النگ، اپی گالوکاتکین گالات (EGCG) و  $\alpha$ -آمیلاز پانکراس توسط جذب (EGCG3Me) روی آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز پانکراس توسط جذب طیف فرابنفش و فلورسنس بررسی گردید. بر اساس نتایج به دست آمده ترکیبات پلی فنلی چای النگ، EGCG و EGCG3Me همگی دارای خاصیت بازدارندگی نسبت به آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز بوده و مقدار نیمه غلظت بازدارندگی ( $IC_{50}$ ) آنها به ترتیب برابر ۰/۳۷۵، ۰/۳۵۰ و ۰/۵۷۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود. بررسی نمودار فلورسنس نشان داد الگوی بازدارندگی پلی فنل‌های چای النگ و EGCG از نوع رقابتی بوده ولی بازدارندگی EGCG3Me از نوع غیر رقابتی است. تفاوت در نوع بازدارندگی EGCG و EGCG3Me را می‌توان به تفاوت ساختاری این دو ترکیب نسبت داد [۸]. بر اساس مطالعه زهرالدین و همکاران (۲۰۱۸) عصاره‌های به دست آمده از انواع جلبک‌های دریایی خوراکی، آلژینات به دست آمده از جلبک قهوه‌ای و ترکیبات فنلی، دارای پتانسیل بازدارندگی از آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز می‌باشند. در این مطالعه سینتیک بازدارندگی آنزیم با آکاربوز مقایسه گردید. عصاره به دست آمده از جلبک لامیناریا دیجیتا و آنداریا پیننا تیفیدا دارای اثر بازدارندگی بوده و به ترتیب با  $IC_{50}$  ۰/۷۴ و ۰/۸۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر هر دو عصاره دارای اثر بازدارندگی ترکیبی بودند. ترکیب فنلی ۵۲ دی هیدروکسی بنزوئیک اسید نیز قدرت بازدارندگی از آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز را داشته و دارای  $IC_{50}$  ۰/۰۴۶ می‌باشد. آلژینات به دست آمده از جلبک قهوه‌ای نیز دارای  $IC_{50}$  ۰/۰۷۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بوده و سازوکار بازدارندگی آن ترکیبی بود. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، عصاره‌های خام جلبک‌های دریایی، ترکیبات فنلی و آلژینات‌ها مهار کننده‌های قوی  $\alpha$ -آمیلاز هستند. در نتیجه به طور بالقوه آزاد سازی گلوکز از نشاسته را به تاخیر انداخته و باعث کاهش لحظه‌ای قند خون بعد از صرف غذا شدند [۹].

فیبرها از نظر تغذیه‌ای دارای خواص بسیاری بوده و اتصال آنها به آنزیم‌های گوارشی مثل آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز شاید یکی از مهم‌ترین ویژگی آنها باشد. در مطالعه انجام شده اثر بازدارندگی فیبرهای محلول (SDF) و نامحلول (IDF) استخراج شده از میوه رسیده

روده به دست می‌آورند [۱۳]. خاصیت ضد اکسندگی صمغ فیبر ذرت را می‌توان به هیدروسینامیک اسیدهای موجود در فیبر مرتبط دانست [۱۴].

طبق مطالعات انجام شده قبلی، تاکنون تحقیقی در زمینه بررسی اثر صمغ فیبر ذرت دارای ترکیبات فنلی بر مهار فعالیت آنزیم‌های  $\alpha$ -آمیلاز و  $\alpha$ -گلوکوزیداز صورت نگرفته است. لذا هدف از انجام این پژوهش بررسی میزان ممانعت کنندگی آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز و  $\alpha$ -گلوکوزیداز توسط صمغ فیبر ذرت و بررسی برهم کنش مابین این فیبر با دو آنزیم می‌باشد.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- مواد

ماده اولیه مورد نیاز جهت انجام این تحقیق، سبوس ذرت می‌باشد که از کارخانه زر فروکتوز (کرج، ایران) تهیه شد. سبوس ذرت خریداری شده با روش آسیاب مرطوب به دست آمده بود. پس از نمونه برداری انجام شده سبوس‌ها به وسیله الک مش ۲۰ جداسازی شده و در دمای محیط نگهداری شدند. هیدروکسید سدیم، پراکسید هیدروژن، هیدروکلریک اسید از شرکت مجملی، ایران تهیه شد. اتانول (غیر سمی) از شرکت الکل سازی بیدستان ایران، DPPH (Diphenyl-1-picrylhydrazyl-2-2) و ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) از شرکت سیگما، ترلوکس، متانول، معرف فولین-سیوکالتو، گالیک اسید و پتاسیم پر سولفات از شرکت مرک آلمان و آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز تجاری از شرکت نووزایم دانمارک، PNHG (4-Hydroxybenzhydrazide)، آنزیم  $\alpha$ - (4-Nitrophenyl  $\alpha$ -D-glucopyranoside)، آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز خوکی و پودر روده موش از شرکت سیگما تهیه شد.

### ۲-۲- استخراج صمغ فیبر ذرت

سبوس ذرت اولیه به وسیله آسیاب خرد شد و سپس از الک مش شماره ۴۰ عبور داده شد. سبوس خرد شده، جهت حذف نشاسته ابتدا با آب مقطر مخلوط شد سپس به وسیله آنزیم ترمامل ( $\alpha$ -آمیلاز) تیمار گردید. نشاسته سبوس به وسیله صاف کردن و شستشو با آب مقطر از سبوس جدا شد و مواد باقی مانده برای خشک شدن به مدت یک شبانه روز در آن ۵۰ درجه قرار

کیوی روی آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز بررسی گردید. در غلظت‌های مساوی از هر دونوع فیبر، فیبرهای نامحلول دارای بازدارندگی بیشتری بودند. بررسی سینتیک میکایل-منتن نشان داد که نحوه بازدارندگی فیبرهای نامحلول ترکیبی بوده، به صورتیکه ثابت تعادل بازدارندگی رقابتی بوده و بازدارندگی آنزیم برابر ۴ میلی گرم بر میلی لیتر بود. بازدارندگی آنزیمی فیبرهای محلول از نوع غیر رقابتی بوده و میزان بازدارندگی آنزیم ۱۲/۵ میلی گرم بر میلی لیتر بود [۱۰]. در مطالعه دیتال و همکاران (۲۰۱۵) اثر بازدارندگی سلولز از آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز بررسی شد. حضور سلولز سبب کاهش سرعت هضم نشاسته گردید. بررسی سینتیک آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز در هضم نشاسته ذرت در حضور سلولز نشان داد که نوع بازدارندگی فیبر سلولز از نوع ترکیبی بوده و میزان بازدارندگی آنزیم سلولز برابر ۳ میلی گرم در میلی لیتر بود. تمامی نتایج نشان دهنده پتانسیل سلولز به عنوان ترکیب بازدارنده از هضم نشاسته بود [۱۱].

بر اساس مطالعه رز و همکاران (۲۰۰۸) سالانه حدود ۲۵/۶ میلیون تن ذرت به وسیله آسیاب مرطوب و ۶ میلیون تن به وسیله آسیاب خشک تولید شده که از این مقدار در حدود ۲/۴۳ میلیون تن فیبر ذرت و ۰/۳۴۱ میلیون تن سبوس است. تنها استفاده این مواد جانبی تولید شده به صورت غذای دام می‌باشد. عمده‌ترین ترکیب موجود در فیبر و سبوس ذرت، فیبر رژیمی می‌باشد. فیبر ذرت خود از ۲۸۰ گرم در کیلوگرم سلولز، ۷۰۰ گرم در کیلوگرم از همی سلولز و تنها بخش کوچکی حدود ۱۰ گرم در کیلوگرم از لیگنین تشکیل شده است [۱۲]. به همی سلولز استخراج شده از سبوس ذرت به وسیله استخراج قلیایی اصطلاحاً صمغ فیبر ذرت (MFG) نیز می‌گویند. صمغ فیبر ذرت تولیدی دارای گروه‌های فرولیک اسیدی به صورت استری شده (حتی بعد از تیمار قلیایی) می‌باشند. امروزه فرولیک اسید به دلیل داشتن خواص ضد اکسایشی مورد توجه بوده و پیوندهای فرولیک اسید موجود در MFG استخراج شده می‌تواند جهت مقابله با بیماری‌های گوارشی استفاده شود. در حقیقت زمانی که فیبر بدون فرولیک اسید باشد به سرعت در قسمت بالایی دستگاه گوارشی جذب می‌شود. در حالی که پیوندهای فنلیکی در قسمت پایینی دستگاه گوارشی به وسیله استراژهای میکروبی آزاد شده و به همین سبب توانایی جذب رادیکال‌های آزاد را در این قسمت از

خوانده شد. درصد بازدارندگی ماده مورد نظر طبق معادله زیر محاسبه گردید:

$$\text{بازدارندگی (\%)} = \frac{\text{جذب محلول} - \text{جذب شاهد}^*}{\text{جذب شاهد}} \times 100$$

\*جذب شاهد: در نمونه شاهد به جای استفاده از نمونه از همان مقدار آب استفاده شده است [۱۷].

توانایی مهار رادیکال‌های ایجاد شده با استفاده از معادله منحنی استاندارد ترولوکس در غلظت‌های مختلف (۰-۳۵۰) به صورت میلی‌مولار ترولوکس در هر گرم ماده خشک بیان شد.

### ۲-۳-۳- آزمون رادیکال کاتیون ABTS

اساس کار این آزمون بر بی‌رنگ شدن رادیکال کاتیون‌های ABTS که توسط یون‌های پرسولفات تولید شده با ماده ضد اکساینده مورد نظر می‌باشد. بیشترین جذب رادیکال‌های ABTS تولیدی توسط یون‌های پرسولفات در ۷۳۴ نانومتر می‌باشد که هر چهقدر قدرت ترکیب ضد اکساینده بیشتر باشد محلول رادیکالی تولید شده بی‌رنگ‌تر خواهد بود. میزان ۲۰ میکرولیتر از نمونه با غلظت‌های مختلف با ۹۸۰ میکرولیتر از محلول ABTS به خوبی مخلوط و به مدت ۳-۱۰ دقیقه در محیط تاریک در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و سپس جذب محلول در ۷۳۴ نانومتر خوانده شد. نمونه شاهد نیز به وسیله افزودن ۹۸۰ میکرولیتر از ABTS با ۲۰ میکرولیتر از آب مقطر ساخته شد و درصد مهارکنندگی نمونه مورد نظر با معادله زیر محاسبه شد:

$$\text{بازدارندگی (\%)} = \frac{\text{جذب محلول} - \text{جذب شاهد}^*}{\text{جذب شاهد}} \times 100$$

قدرت مهارکنندگی رادیکال کاتیون‌های ABTS با استفاده از معادله منحنی استاندارد ترولوکس در غلظت‌های مختلف (۰-۵۰) (۱۱۰۰) به صورت میلی‌مولار ترولوکس در هر گرم ماده خشک بیان شد [۱۸].

### ۲-۴- آزمون‌های ضد دیابتی

#### ۲-۴-۱- آزمون بازدارندگی α-آمیلاز خوکی

اساس کار انجام این واکنش بر پایه تولید قند احیا در محیط قلیایی می‌باشد. رنگ قند احیا تولید شده در ترکیب با ماده رنگی به نام ۴-هیدروکسی بنزوئیک اسید هیدرازین در محیط قلیایی به

گرفت. پس از نشاسته گیری، صمغ فیبر ذرت با استفاده از دو روش زیر استخراج شد:

۱- استخراج فیبر به روش قلیایی + هیدروژن پراکسید (برای سهولت تشخیص، فیبر تولید شده با این روش Y نامگذاری شد) [۱۳].

۲- استخراج فیبر به روش قلیایی بدون هیدروژن پراکسید (برای سهولت تشخیص، فیبر تولید شده با این روش FAX نامگذاری شد) [۱۵].

### ۲-۳- فنل کل و خواص ضد اکسایشی صمغ فیبر ذرت

#### ۲-۳-۱- بررسی میزان فنل کل

برای اندازه گیری میزان کل ترکیبات فنلی از روش فولین-سیوکالتو استفاده شد. مطابق این روش میزان ۲۰ میکرولیتر از نمونه با ۱۰۰ میکرولیتر از محلول فولین و ۱/۱۶ میلی لیتر آب مقطر مخلوط شده و بعد از گذشت حدود ۳-۸ دقیقه حدود ۳۰۰ میکرولیتر از محلول سدیم کربنات ۲۰ درصد (W/V) به محلول درست شده اضافه گردید. محلول حاصل را به لوله‌های آزمایش درب دار منتقل و لوله‌ها درون حمام آب گرم ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از گذشت ۳۰ دقیقه میزان جذب نمونه‌ها در برابر نمونه شاهد (نمونه اصلی با آب مقطر جایگزین شد) به وسیله دستگاه طیف سنج در طول موج ۷۶۵nm خوانده شد.

منحنی استاندارد گالیک اسید در غلظت‌های (۵۰۰-۸۰) ppm رسم شده و میزان ترکیبات کل فنلی موجود در نمونه با واحد میلی‌گرم گالیک اسید در گرم ماده خشک محاسبه شد [۱۶].

#### ۲-۳-۲- قدرت مهار کنندگی رادیکال‌های آزاد

#### DPPH

برای انجام آزمون DPPH ابتدا محلول این ترکیب با غلظت ۰/۱ میلی مولار تهیه شد (۱/۹۷ میلی‌گرم از پودر DPPH در ۵۰ میلی لیتر متانول به دقت حل شد). سپس نمونه‌ها با غلظت‌های مختلف ساخته شد و به میزان ۱۰۰ میکرولیتر از نمونه‌ها با ۹۰۰ میکرولیتر از محلول DPPH در ظرف مناسب به خوبی همزده شده و به مدت نیم ساعت در دمای اتاق در محیط تاریک قرار گرفت. بعد از نیم ساعت جذب محلول مورد نظر در ۵۱۷ نانومتر

## ۲-۵-آزمون فلورسانس ذاتی و خارجی

مقادیر مشخص از آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز (۳ میلی‌لیتر، ۰/۲۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و آنزیم  $\alpha$ -گلوکوزیداز (۳ میلی‌لیتر، ۰/۲۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) با ۰/۳ میلی‌لیتر از صمغ فیبر استخراج شده با هر دو روش با غلظت‌های مختلف (۰/۲۵، ۰/۵۰، ۱، ۲ و ۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) ترکیب شده و برای ۵ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. شدت فلورسانس آنزیم‌ها با طول موج تحریک ۲۹۰ نانومتر و طول موج انتشار ۳۱۰ تا ۵۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد [۲۰]. میزان اثر فرونشاندن در اثر برخورد مولکولی با استفاده از معادله استرن-ولمر ارزیابی شد:

$$\frac{F_0}{F} = 1 + K_{sv}[Q]$$

که در آن  $F_0$  حداکثر مقدار پیک شدت فلورسانس آنزیم و  $F$  حداکثر مقدار پیک شدت فلورسانس آنزیم در حضور یکی از فیبرهای استخراج شده از سبوس ذرت بود. شیب نمودار  $(K_{sv})$  در معادله استرن-ولمر به عنوان شاخصی از اثر فرونشاندن کننده برخورد روی فلورسانس ذاتی آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز و  $\alpha$ -گلوکوزیداز در نظر گرفته شد [۲۱].

## ۲-۶-تجزیه تحلیل داده‌ها

برای تجزیه تحلیل داده‌ها از روش تجزیه واریانس (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار آماری MiniTab در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. به منظور بررسی اختلاف میانگین‌ها در صورت معنی‌دار بودن اثر فاکتورها ( $P < 0.05$ )، از آزمون Tukey استفاده شد. تمامی نتایج به صورت میانگین  $\pm$  تکرار  $\pm$  انحراف معیار بیان شده است. برای رسم شکل‌ها از نرم افزار Microsoft Excel استفاده شد.

## ۳-نتایج و بحث

### ۳-۱-راندمان استخراج

راندمان استخراج فیبر تولیدی به وسیله هردو روش استفاده شده یعنی FAX (بدون حضور هیدروژن پراکسید) و Y (با استفاده از هیدروژن پراکسید)، در شکل ۱ نشان داده شده است.

رنگ زرد تبدیل شده و با افزایش رنگ محلول حاصله در طول موج ۴۱۰ نانومتر می‌توان فعالیت آنزیم را محاسبه نمود. برای محاسبه فعالیت بازدارندگی صمغ فیبر ذرت ابتدا غلظت‌های مختلف (۱۰-۳۰) میلی‌گرم بر میلی‌لیتر از فیبر تهیه و نسبت‌های مساوی از آنزیم و فیبر (۱۰۰ میکرولیتر) با هم مخلوط شده و سپس محلول نشاسته در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مخلوط حاصله اضافه شد و ۲۰ دقیقه گرمخانه گذاری شد. محلول حاصله تحت دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا آنزیم غیر فعال گردد. سپس محلول مورد نظر به منظور جدا شدن نشاسته هضم شده تحت سانتریفوژ ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه قرار داده شد. سپس ۲۰ میکرولیتر از محلول مورد نظر با ۳ میلی‌لیتر از محلول رنگی مخلوط شده و مدت ۱۰ دقیقه تحت دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. جذب ترکیب حاصله در طول موج ۴۱۰ نانومتر خوانده شد [۷]. بازدارندگی از معادله زیر محاسبه گردید:

$$\text{بازدارندگی (\%)} = \frac{\text{جذب محلول - جذب کنترل}}{\text{جذب کنترل}} \times 100$$

### ۲-۴-۲-آزمون بازدارندگی $\alpha$ -گلوکوزیداز روده‌ی

#### موش

ابتدا آنزیم مربوطه از روده‌ی موش استخراج گردید. عصاره استخراج شده به میزان ۹۸  $\mu\text{M}$  بر میلی‌لیتر رقیق شد. دوپست میکرولیتر از آنزیم  $\alpha$ -گلوکوزیداز با صد میکرولیتر از نمونه به مدت ۵ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد گرمخانه گذاری شد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از پیش ماده (پی-نیتروفنل  $\alpha$ -دی-گلوکوپیرانوزید) به مخلوط واکنش اضافه گردید. میزان بازدارندگی از آنزیم در طول موج ۴۰۵ نانومتر برای هر نمونه از رابطه زیر محاسبه گردید:

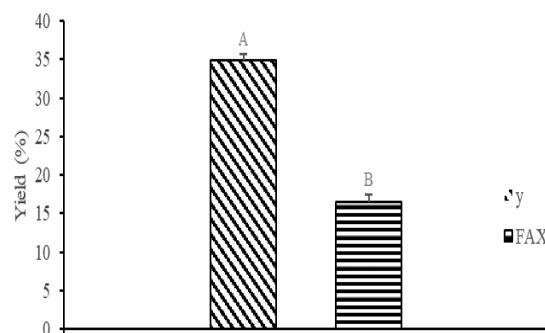
$$\text{بازدارندگی (\%)} = \frac{\text{جذب محلول - جذب کنترل}}{\text{جذب کنترل}} \times 100$$

\*در نمونه کنترل مثبت به جای ترکیب از آکاربوز استفاده شده است [۱۹].

از آسیاب مرطوب با فیبر به ترتیب برابر با ۱۳/۰۱ و ۱۹/۰۲ درصد (وزنی/وزنی) گزارش شده است [۱۳]. در مطالعه دیگری نیز، راندمان فیبر استخراج شده از سبوس ذرت حاصل از آسیاب مرطوب برابر با ۱۹/۵ درصد (وزنی/وزنی) بود [۱۵]. بنابراین نتایج مطالعه حاضر با مطالعات مذکور مطابقت داشت.

### ۳-۲- ترکیب شیمیایی فیبر

ترکیبات موجود در ساختار فیبرهای استخراج شده مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در جدول ۱ بیان شده است. بر اساس مطالعه یاداو و همکاران (۲۰۱۰) میزان پروتئین، رطوبت و خاکستر موجود در فیبر استخراج شده (با هیدروژن پراکسید) به ترتیب ۱/۹۷، ۶/۳۲ و ۶/۰۵ می باشد که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت [۱۳].



**Fig 1** Yield of MFGs (FAX and Y) recovered from destarched maize bran  
Different letters denote significant difference between treatments ( $p < 0.05$ ).

بالاترین راندمان مربوط به فیبر Y با ۳۴/۸۶ درصد و سپس FAX با ۱۶/۵۴ درصد بود. نتایج راندمان فیبر به دست آمده از سبوس ذرت حاصل از ذرت تخمیر شده و سبوس ذرت به دست آمده

**Table 1** Proximate composition of maize fiber gums

Ash(%)	Protein(%)	Moisture (%)	sample
6.71 ± 0.56 <sup>a</sup>	1.40 ± 0.08 <sup>b</sup>	6.52 ± 0.54 <sup>a</sup>	Y
6.92 ± 0.21 <sup>a</sup>	4.73 ± 0.03 <sup>a</sup>	6.78 ± 0.70 <sup>a</sup>	FAX

Different letters in each column denote significant difference between samples ( $p < 0.05$ ).

### ۳-۳-۲- فعالیت مهارکنندگی رادیکال کاتیون ABTS

در جدول ۲ خاصیت مهارکنندگی رادیکال کاتیونی ABTS نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده فیبر استخراجی با هر دو روش دارای خاصیت ضد اکسایشی می باشد. فعالیت مهارکنندگی مربوط به نمونه FAX (استخراج شده بدون استفاده از هیدروژن پراکسید) برابر با  $2/99 \mu\text{molTE/g} \pm$  بوده و نمونه Y (استخراج شده با استفاده از هیدروژن پراکسید)  $29/68 \pm 1/17 \mu\text{molTE/g}$  می باشند. به طور کلی نتایج به دست آمده نشان می دهد با افزودن هیدروژن پراکسید، میزان فعالیت بازدارندگی رادیکال کاتیونی ABTS در فیبر کاهش یافت. هیدروژن پراکسید به تنهایی ترکیب خیلی واکنش پذیری نیست، اما ممکن است در بعضی مواقع به دلیل افزایش دادن رادیکالهای هیدروکسیل در سلولها برای آنها مضر واقع شود. هیدروژن پراکسید با چسبیدن به یک طرف غشای سلولی و

### ۳-۳-۳- فنل کل و فعالیت ضد اکسایشی فیبر ذرت

۱-۳-۳- اندازه گیری میزان فنل کل فیبرهای استخراج شده

مقدار کل ترکیبات فنلی فیبر استخراج شده Y و FAX به ترتیب برابر با  $27/73 \pm 0/66$  و  $16/28 \pm 0/947$  میلی گرم گالیک اسید بر گرم فیبر می باشد. ظرفیت ضد اکسایشی صمغ فیبر ذرت به میزان فرولیک اسید متصل به ساختمان آرابینوزایلانی موجود در ساختار فیبر وابسته است که فرولیک اسید ممکن است در اثر روش به کارگیری استخراج دچار تغییراتی شود [۱۳]. آیلا-سوتو و همکاران (۲۰۱۷) میزان فنل کل صمغ فیبر ذرت استخراج شده از سبوس ذرت حاصل از ذرت تخمیر یافته را بین ۱/۹۵ تا ۳/۵۵ میلی گرم بر گرم گالیک اسید بیان کردند [۱۴].

حدود ۰/۱ میلی گرم در هر میلی لیتر می باشد که در مقایسه با آسکوربیک اسید که دارای  $IC_{50}$  ۰/۰۴ میلی گرم بر میلی لیتر می باشد کمتر است. در صورتی که خاصیت ضد اکسایشی ( $IC_{50}$ ) صمغ گوار، سولفات های مشتق شده از صمغ گوار، الیگوساکاریدهای استحصالی از همی سلولز بخش های چوبی گیاه و پوسته برنج در حدود ۵ تا ۰ میلی گرم بر میلی لیتر می باشد، که در مقایسه با صمغ فیبر ذرت دارای خاصیت ضد اکسایشی ضعیف تری می باشد. پس این صمغ نسبت به ترکیبات صمغی و فیبری طبیعی دارای قدرت ضد اکسایشی بالاتری می باشد [۲۴]. بر اساس مطالعه هرا و همکاران (۲۰۲۰) فعالیت بازدارندگی رادیکال DPPH در FAX (بدون استفاده از هیدروژن پراکسید)  $0.75 \pm 31.69 \mu\text{molTE/g}$  گزارش شده است [۱۵]. فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH صمغ فیبر ذرت استخراج شده با آب بین ۵۹/۹ تا ۷۱/۱ میکرومول ترولوکس بر گرم گزارش شده است [۲۵]. در مطالعه ای ظرفیت ضد اکسایشی فیبر ذرت استخراج شده از سبوس ذرت به دست آمده از ضایعات تخمیری میکرومول ترولوکس بر گرم فیبر گزارش شده است [۲۶]. روش استخراج، نوع خشک کردن و واریته گیاه ذرت به کار برده شده همگی از عوامل تاثیرگذار روی خاصیت ضد اکسایشی صمغ فیبر ذرت تولیدی می باشند [۱۳].

Table 2 Antioxidant activity of maize fiber gums

( $\mu\text{molTE/g}$ ) ABTS	( $\mu\text{molTE/g}$ ) DPPH	Sample
$29.68 \pm 1.71^b$	$4.73 \pm 1.60^b$	Y
$137.10 \pm 2.99^a$	$39.74 \pm 0.39^a$	FAX

Different letters in each column denote significant difference between samples ( $p < 0.05$ ).

سازوکارهای متفاوتی در بازدارندگی از فعالیت این آنزیم می باشد. به عنوان مثال مهار کننده هایی مانند آکاربوز با تشکیل کمپلکس بین آنزیم و ممانعت کننده سبب بازدارندگی از فعالیت آنزیم می شوند. فیبرهای غذایی با ویسکوز کردن محیط و کاهش سرعت انتشار گلوکز سبب کاهش فعالیت آنزیم می گردند [۲۷]. بر اساس مطالعه یان و همکاران (۲۰۱۹) که روی اثر بازدارندگی از آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز فیبرهای رژیمی محلول در آب استخراج شده با روش های مختلف از سبوس گندم انجام شد، تمامی فیبرهای به دست آمده دارای خاصیت ممانعت کنندگی بودند. بازدارندگی

واکنش با  $Fe^{2+}$  و  $Cu^{2+}$  و تبدیل کردن این فلزها به شکل رادیکال های هیدروکسیل سبب بروز واکنش های تخریبی در سلول می شود [۲۲].

### ۳-۳-۳- فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH

فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH بر حسب میکرومول ترولوکس بر میلی گرم فیبر در جدول ۲ ذکر شده است. براساس نتایج به دست آمده هر دو نمونه فیبر دارای خاصیت مهارکنندگی می باشند. بیشترین خاصیت مهارکنندگی مربوط به فیبر FAX (بدون استفاده از هیدروژن پراکسید) با  $0.399 \pm 39.74 \mu\text{molTE/g}$  و سپس فیبر استخراج شده Y با  $0.75 \pm 31.69 \mu\text{molTE/g}$  می باشد. با افزودن هیدروژن پراکسید در روش استخراج میزان خاصیت مهارکنندگی فیبر کاهش پیدا کرد به طوری که Y کمترین میزان بازدارندگی را در مقایسه با روش استخراج دیگر داشت که دلیل این امر را می توان به خاصیت اکسیدکنندگی هیدروژن پراکسید نسبت داد. در مطالعه وانگ و همکاران (۲۰۱۰)  $IC_{50}$  فیبر ذرت با حضور هیدروژن پراکسید از ۰/۱ تا ۱ افزایش پیدا کرد که این امر به خوبی نشان دهنده خاصیت اکسیدکنندگی هیدروژن پراکسید می باشد [۲۳]. هرچه میزان  $IC_{50}$  یک ترکیب بیشتر شود نشان دهنده کمتر بودن قدرت ضد اکسایشی آن ترکیب می باشد.  $IC_{50}$  مربوط به صمغ فیبر ذرت

### ۳-۴- آزمون تعیین بازدارندگی $\alpha$ -آمیلاز خوکی

در این پژوهش، توانایی فیبرهای استخراج شده از سبوس ذرت برای مهار فعالیت آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز به منظور تاخیر در آبکافت نشاسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان دهنده توانایی هر دو فیبر استخراج شده در بازدارندگی آنزیم بود.  $IC_{50}$  مهارکنندگی فیبر FAX و Y به ترتیب برابر با ۳۳ mg/mL و ۴۸/۸ می باشد.

بر اساس نتایج به دست آمده، خاصیت مهارکنندگی با افزایش میزان فنل کل فیبرها افزایش یافته و فیبر استخراجی دارای

مختلفی با پروتئین‌ها را دارا می‌باشند. رابطه بین تشکیل کمپلکس و بازدارندگی آنزیم مستقیم می‌باشد به این صورت که ترکیبات هیدروکسیل موجود در ترکیبات پلی فنلی با جایگاه فعال آنزیم تشکیل پیوند داده و سبب ممانعت از فعالیت آنزیم می‌گردد [۳۳]. ترکیبات فنلی استخراج شده از منابع گیاهی دارای فعالیت بازدارندگی و ( $K_i$ ) مشابه با ترکیباتی مثل آکربوز در برابر آنزیم‌های  $\alpha$ -گلوکوزیداز/مالتاز از خود نشان دادند [۳۴]. ترکیبات فنلیک استخراج شده از میوه بلوبری به وسیله اشغال جایگاه فعال آنزیم  $\alpha$ -گلوکوزیداز، توسط روش غیررقابتی سبب بازدارندگی از فعالیت آنزیم شده بود [۳۵].

### ۳-۶- فلورسانس ذاتی و خارجی

در مطالعه حاضر، شدت فلورسانس آنزیم‌های  $\alpha$ -گلوکوزیداز و  $\alpha$ -آمیلاز قبل و بعد از ترکیب شدن با صمغ فیر ذرت به منظور بررسی پیوندها و برهم‌کنش‌های انجام شده بین آنها اندازه‌گیری شد (شکل ۲). اسید آمینه تریپتوفان مهم‌ترین عامل ساطع کننده فلوئورسانس در پروتئین‌ها می‌باشد. در اثر پیوند پروتئین با سایر ترکیبات اسید آمینه تریپتوفان درگیر واکنش شده و شدت فلوئورسانس با توجه به میزان و نوع پیوند ایجاد شده کمتر می‌شود. طیف انتشار فلوئورسانس برای  $\alpha$ -گلوکوزیداز و  $\alpha$ -آمیلاز در  $\lambda_{em} = 290$  نانومتر با افزودن فیبرهای استخراج شده به دست آمد. هر دو نوع فیر در مقایسه با نمونه کنترل (نمونه فاقد فیر) در تمامی غلظت‌های استفاده شده سبب کاهش شدت فلوئورسانس ساطع شده، که ناشی از درگیر شدن اسید آمینه تریپتوفان است، شدند. بر اساس مطالعه سان و همکاران (۲۰۱۶) ترکیبات فنلی به وسیله گروه‌های هیدروکسیل خود و بخش‌های ابگریز باقی مانده اسید آمینه در محل فعال آنزیم‌ها توانایی تشکیل پیوندهای هیدروژنی و ایجاد کمپلکس با پروتئین‌ها را دارند، و از این طریق سبب کاهش شدت فلوئورسانس در پروتئین می‌گردند. بر همین اساس می‌توان گفت با افزایش غلظت ترکیبات فنلی موجود در ترکیبی، شدت فلوئورسانس نیز کاهش بیشتری خواهد داشت [۲۹]. برهم‌کنش بین فیبرها و پروتئین‌ها معمولاً از طریق پیوندهای غیر کووالانسی و تغییر در ساختار سوم پروتئین رخ می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از شکل (۲) شدت فلوئورسانس

آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز توسط ترکیبات پلی ساکاریدی و فیبرها بیشتر به واحدهای ترکیب سازنده فیر و گروه‌های عاملی پیوند یافته به ساختار مربوط می‌باشد [۲۸]. بر اساس مطالعه سان و همکاران (۲۰۱۶) خاصیت بازدارندگی ترکیبات فنلی موجود در سیب در برابر آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز مورد بررسی قرار گرفت. تانیک اسید، کلروژنیک اسید و کافیک اسید موجود در سیب سبب بازدارندگی از آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز شد. نتایج برهم‌کنش بین آنزیم و ترکیبات فنلی نشان دهنده کاهش شدت فلوئورسانس (توانایی تشکیل کمپلکس بین جایگاه فعال آنزیم و ترکیب فنلی) و همگی این نتایج نشان دهنده ممانعت کنندگی خوب ترکیبات موجود در سیب در برابر آنزیم گوارشی است [۲۹]. ترکیبات پلی فنلی موجود در چای (کاتکین، گالوتانین‌ها، الازیتانین‌ها و سایر ترکیبات پلی مری فنلی) سبب بازدارندگی از فعالیت آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز خوراکی می‌شوند [۳۰، ۳۱]. تان‌ها به وسیله قدرت اتصال به پروتئین از طریق ایجاد پیوندهای هیدروفوبی از فعالیت آنزیم‌های گوارشی به خصوص  $\alpha$ -آمیلاز ممانعت کرده و مناسب افراد دارای دیابت نوع ۲ می‌باشند [۳۲].

### ۳-۵- آزمون تعیین بازدارندگی $\alpha$ -گلوکوزیداز

#### روده موش

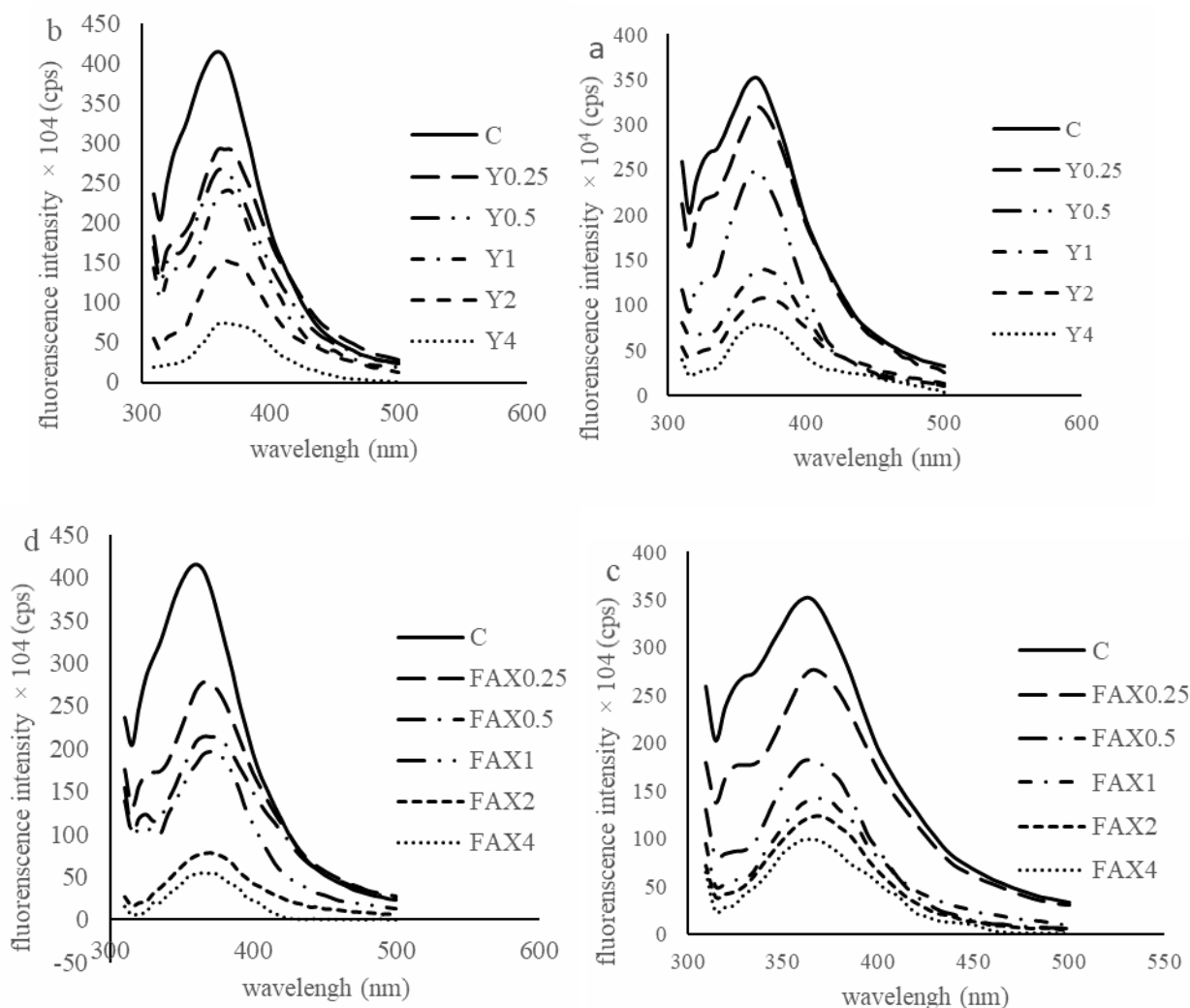
بر طبق نتایج به دست آمده از این آزمون فیر به دست آمده از روش Y در غلظت به کار گرفته شده دارای اثر مهارکنندگی نبوده و همچنین بازدارندگی فیر FAX در غلظت به کار گرفته شده ( $26/15$  (۲۰ mg/mL) درصد می‌باشد.

آنزیم  $\alpha$ -گلوکوزیداز از مهم‌ترین آنزیم‌های موجود در روده می‌باشد که مسئول شکستن الیگوساکاریدها و تبدیل آنها به مونوساکاریدها از طریق جدا کردن ترکیبات هیدروژنی آنها و شکستن پیوند  $(1-4)\alpha$  می‌باشد. ترکیبات فنلی از مهمترین ترکیبات مهار کننده‌های این آنزیم می‌باشند. فنل‌ها از طریق جدا کردن یون هیدروژن آزاد شده از محل فعال آنزیم  $\alpha$ -گلوکوزیداز باعث مهار آنزیم می‌شوند [۲۷]. بر این اساس عملکرد بهتر فیر ذرت استخراج شده FAX را می‌توان به داشتن فنل کل بیشتر از فیر Y نسبت داد. ترکیبات پلی فنلی توانایی تشکیل پیوندهای



ساختمان سوم آنزیم و به وسیله پیوندهای غیرکوالانسی را دارند [۳۶].

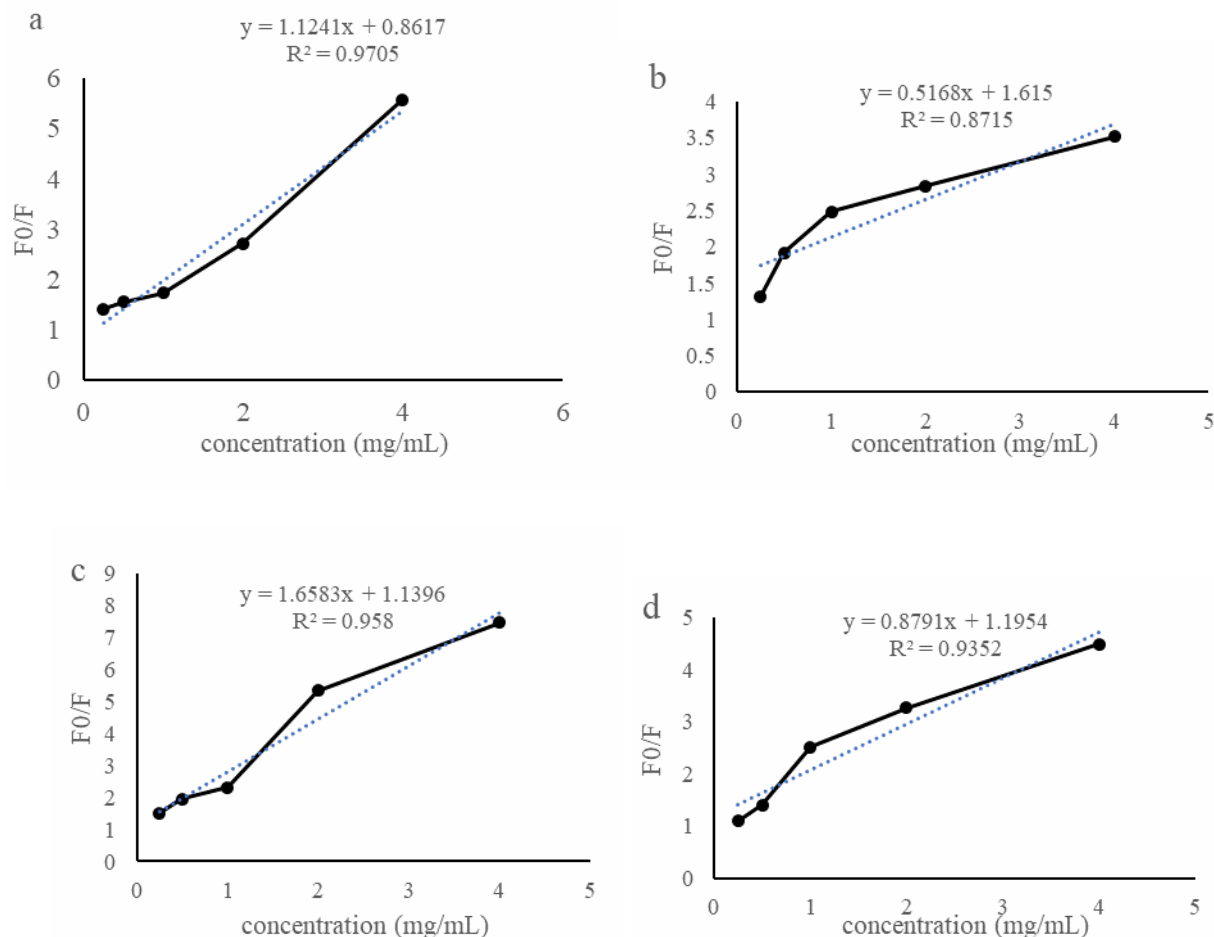
بین دو آنزیم به وسیله هر دو نوع فیبر استخراج شده در مقایسه با نمونه کنترل ( فاقد فیبر ) کاهش یافته است. پس هر دو نوع فیبر توانایی مهار کنندگی هر دو نوع آنزیم را از طریق ایجاد تغییر در



**Fig 2** Intrinsic tryptophan fluorescence of  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase suspensions with different concentration of FAX (c-d: 0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4 mg/mL) and Y (a-b: 0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4 mg/mL). (a):  $\alpha$ -glucosidase-Y; (b)  $\alpha$ -amylase-Y; (c):  $\alpha$ -glucosidase-FAX; (d):  $\alpha$ -amylase-FAX

کمپلکس می‌دهد. تاثیر بازدارندگی هر دو نوع فیبر روی آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز بیشتر از آنزیم  $\alpha$ -گلوکوزیداز می‌باشد. فیبر FAX در مقایسه با فیبر Y برهمکنش بیشتری با هر دو نوع آنزیم داشته، که نتیجه به دست آمده از این بخش با نتایج بازدارندگی فیبرها در بخش فلورسنس کاملاً مطابقت دارد.

با استفاده از معادله استرن-ولمر می‌توان اثر فرونشاندن برخورد را ارزیابی کرد. نمودارهای موجود در شکل ۳ کاربرد این معادله در انتشار فلوروسنس سیستم مخلوط  $\alpha$ -گلوکوزیداز و  $\alpha$ -آمیلاز با هر دو نوع فیبر استخراج شده از سبوس ذرت را نشان داده است. بر اساس شکل ۳ هر دو نوع فیبر با هر دو آنزیم تشکیل



**Fig 3** The quenching constant of the interaction between (a):  $\alpha$ -amylase-Y; (b):  $\alpha$ -glucosidase-Y; (c):  $\alpha$ -amylase-FAX and (d):  $\alpha$ -glucosidase-FAX.

#### ۴- نتیجه گیری

در این مطالعه فیبر ذرت با دو روش با و بدون حضور پراکسید هیدروژن از سبوس ذرت استخراج و فعالیت ضد اکسایشی و ضد دیابتی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده فیبر FAX فعالیت ضد اکسایشی و ممانعت کنندگی بیشتری نسبت به فیبر Y در برابر آنزیم های  $\alpha$ -آمیلاز خوکی و  $\alpha$ -گلوکوزیداز موشی داشت. همچنین نتایج فرونشاندن فلئورسانس نشان داد که فیبرها فعالیت هر دو آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز و  $\alpha$ -گلوکوزیداز را از طریق ایجاد تغییرات در ساختار سوم این آنزیمها با برهم کنش غیر کووالانسی مهار کرد. به طور کلی صمغ فیبر استخراج شده FAX به دلیل دارا بودن ترکیبات فنلیک بالا و پتانسیل ضد دیابتی و ضد اکسندگی می تواند در فرمولاسیون های غذایی برای سلامت افراد جامعه مفید واقع گردد.

#### ۵- سپاسگزاری

تحقیق حاضر مستخرج از طرح " استخراج ترکیبات زیست فعال از گونه های گیاهی خشکی و دریایی واجد هتروگلیکان ها به منظور تولید فرآورده های غذایی سلامتی بخش " می باشد. از ستاد توسعه زیست فناوری بابت حمایت مادی تشکر و قدردانی می نمایم.

#### ۶- منابع

- [1] Kumar, D., Chatli, M.K., Singh, R., and Mehta, N. 2016. Antioxidant and antimicrobial activity of camel milk casein hydrolysates and its fractions. Small Ruminant Research. 139: 20–25.
- [2] Burton, P.M., Monro, J.A., Alvarez, L., and Gallagher, E. 2011 Glycemic impact

- implications. *Carbohydrate Polymers*. 123: 305-312.
- [12] Rose, D. J., Inglett, G. E., and Liu, S. X. 2010. Utilisation of corn (*Zea mays*) bran and corn fiber in the production of food components. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90(6): 915-924.
- [13] Yadav, M. P., Cooke, P., Johnston, D. B., and Hicks, K. B. 2010. Effect of protein rich components on the emulsifying properties of corn fiber gum. *Cereal Chemistry*. 87(2): 8994.
- [14] Ayala-Soto, F. E., Serna-Saldívar, S. O., García-Lara, S., and Pérez-Carrillo, E. 2014. Hydroxycinnamic acids, sugar composition and antioxidant capacity of arabinoxylans extracted from different maize fiber sources, *Food Hydrocolloids*. 35: 471-475.
- [15] Herrera-Balandrano, D. D., Báez-González, J. G., Carvajal-Millán, E., Muy-Rangel, D., Urías-Orona, V., Martínez-López, A. L., ... and Niño-Medina, G. 2020. Alkali-extracted feruloylated arabinoxylans from nixtamalized maize bran byproduct: A synonymous with soluble antioxidant dietary fiber. *Waste and Biomass Valorization*. 11(2): 403-409.
- [16] Jalili Safaryan, M., Ahmadi, H., Barzegar, M., Tabarsa, M., & Udenigwe, C. 2022. Evaluation of inhibitory effect of alpha-amylase and alpha-glucosidase by interaction phenolic compounds, soluble fiber, and protein extracted from green lentils. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 19(122), 35-45.
- [17] Rajaei, A., Barzegar, M., Mobarez, A. M., Sahari, M. A., and Esfahani, Z. H. 2010. Antioxidant, anti-microbial and antimutagenicity activities of pistachio (*Pistachia vera*) green hull extract. *Food and Chemical Toxicology*. 48: 107-112.
- [18] Thetsrimuang, C., Khammuang, S., Chiablaem, K., Srisomsap, C., and Sarnthima, R. 2011. Antioxidant properties and cytotoxicity of crude polysaccharides from *Lentinus polychrous* Lévl. *Food Chemistry*. 128(3): 634-639.
- [19] Connolly, A., Piggott, C.O., and FitzGerald, R.J. 2014. *In vitro*  $\alpha$ -glucosidase, angiotensin converting enzyme and dipeptidyl peptidase-IV inhibitory properties of brewers' spent grain protein hydrolysates. *Food Research International*. 56: 100-107.
- and health: new horizons in white bread formulations. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 51(10): 965-982.
- [3] Nasri, M. 2017. Protein hydrolysates and biopeptides: production, biological activities, and applications in foods and health benefits. A Review. In: *Advances in Food and Nutrition Research*. Elsevier. 81: 109-159.
- [4] Shishehbor, F., kazem assareh, E., veisi, M., and Saki Malehi, A. 2017. Roasted chickpea flour decreases glycemic index and glycemic load of white bread. *Iranian Journal of Endocrinology and Metabolism*. 19(1): 10-17.
- [5] Association, A.D. 2014. Diagnosis and classification of diabetes mellitus. *Diabetes Care*. 37(1): 81-90.
- [6] Adisakwattana, S., Lerdsuwankij, O., Poputtachai, U., Minipun, A., and Suparpprom, C. 2011. Inhibitory activity of cinnamon bark species and their combination effect with acarbose against intestinal  $\alpha$ -glucosidase and pancreatic  $\alpha$ -amylase. *Plant Foods for Human Nutrition*. 66(2): 143-148.
- [7] Nghoh, Y.Y., and Gan, C.Y. 2016. Enzyme-assisted extraction and identification of antioxidative and  $\alpha$ -amylase inhibitory peptides from Pinto beans (*Phaseolus vulgaris* cv. Pinto). *Food Chemistry*. 190: 331-337.
- [8] Fei, Q., Gao, Y., Zhang, X., Sun, Y., Hu, B., Zhou, L., ... and Zeng, X. 2014. Effects of Oolong tea polyphenols, EGCG, and EGCG3 "Me on pancreatic  $\alpha$ -amylase activity *in vitro*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62(39): 9507-9514.
- [9] Zaharudin, N., Salmeán, A. A., and Dragsted, L. O. 2018. Inhibitory effects of edible seaweeds, polyphenolics and alginates on the activities of porcine pancreatic  $\alpha$ -amylase. *Food Chemistry*. 245: 1196-1203.
- [10] Wang, K., Li, M., Han, Q., Fu, R., and Ni, Y. 2021. Inhibition of  $\alpha$ -amylase activity by insoluble and soluble dietary fibers from kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Food Bioscience*. 42: 101057.
- [11] Dhital, S., Gidley, M. J., and Warren, F. J. 2015. Inhibition of  $\alpha$ -amylase activity by cellulose: Kinetic analysis and nutritional

- physicochemical and functional properties of soluble dietary fibers from wheat bran. *Food Chemistry*. 298: 124987.
- [29] Sun, L., Chen, W., Meng, Y., Yang, X., Yuan, L., and Guo, Y. 2016. Interactions between polyphenols in thinned young apples and porcine pancreatic  $\alpha$ -amylase: Inhibition, detailed kinetics and fluorescence quenching. *Food Chemistry*. 208: 51-60.
- [30] Kusano, R., Andou, H., Fujieda, M., Tanaka, T., Matsuo, Y., and Kouno, I. 2008. Polymer-like polyphenols of black tea and their lipase and amylase inhibitory activities. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 56(3): 266-272.
- [31] Li, H., Tanaka, T., Zhang, Y. J., Yang, C. R., and Kouno, I. 2007. Rubusaviins A–F, monomeric and oligomeric ellagitannins from Chinese sweet tea and their  $\alpha$ -amylase inhibitory activity. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 55(9): 1325-1331.
- [32] Santos Buelga, C., and Scalbert, A. 2000. Proanthocyanidins and tannin-like compounds—nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80(7): 1094-1117.
- [33] Lo Piparo, E., Scheib, H., Frei, N., Williamson, G., Grigorov, M., and Chou, C. J. 2008. Flavonoids for controlling starch digestion: Structural requirements for inhibiting human alpha-amylase. *Journal of Medicinal Chemistry*. 51: 3555–3561.
- [34] Toeller, M. 1994.  $\alpha$ -Glucosidase inhibitors in diabetes: efficacy in NIDDM subjects. *European Journal of Clinical Investigation*. 24(S3): 31-35.
- [35] McDougall, G. J., Shpiro, F., Dobson, P., Smith, P., Blake, A., and Stewart, D. 2005. Different polyphenolic components of soft fruits inhibit  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(7): 2760-2766.
- [36] Hua, M., Sun, Y., Shao, Z., Lu, J., Lu, Y., and Li, Z. 2020. Functional soluble dietary fiber from ginseng residue: Polysaccharide characterization, structure, antioxidant, and enzyme inhibitory activity. *Food Biochemistry*. 44(12), e13524.
- [20] Zheng, Y., Tian, J., Yang, W., Chen, S., Liu, D., Fang, H., Zhang, H., and Ye, X. 2020. Inhibition mechanism of ferulic acid against  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase. *Food Chemistry*. 317:126346.
- [21] Perez, A. A., Carrara, C. R., Sánchez, C. C., Patino, J. M., and Santiago, L. G. 2009. Interactions between milk whey protein and polysaccharide in solution. *Food Chemistry*, 116: 104–113.
- [22] Xiong, X., Li, M., Xie, J., Jin, Q., Xue, B., and Sun, T. 2013. Antioxidant activity of xanthan oligosaccharides prepared by different degradation methods. *Carbohydrate Polymers*. 92(2): 1166-1171.
- [23] Wang, X., Wang, J., Zhang, J., Zhao, B., Yao, J., and Wang, Y. 2010. Structure–antioxidant relationships of sulfated galactomannan from guar gum. *International Journal of Biological Macromolecules*. 46(1): 59-66.
- [24] Rivas, S., Conde, E., Moure, A., Domínguez, H., and Parajó, J. C. 2013. Characterization, refining and antioxidant activity of saccharides derived from hemicelluloses of wood and rice husks. *Food Chemistry*. 141(1): 495-502.
- [25] Malunga, L.N., Beta, T. 2015. Antioxidant capacity of water-extractable arabinoxylan from commercial barley, wheat, and wheat fractions. *Cereal Chemistry*. 92: 29–36.
- [26] Paz-Samaniego, R., Méndez-Encinas, M., Fierro-Islas, J.M., Marquez-Escalante, J., Rascón-Chu, A., Martínez-Lopez, A.L., Carvajal-Millan, E. 2015: Chapter 7 ferulated arabinoxylans recovered from low-value maize by-products: gelation and antioxidant capacity. In: Warren, B. (ed.) *Ferulic Acid: Antioxidant Properties, Uses and Potential Health Benefits*, pp. 151–164. Nova Science Publishers, New York.
- [27] Kim, K. T., Rioux, L. E., and Turgeon, S. L. 2014. Alpha-amylase and alpha-glucosidase inhibition is differentially modulated by fucoidan obtained from *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum*. *Phytochemistry*. 98: 27–33.
- [28] Yan, J. K., Wu, L. X., Cai, W. D., Xiao, G. S., Duan, Y., and Zhang, H. 2019. Subcritical water extraction-based methods affect the



## Evaluation of the interaction of maize fiber gum with $\alpha$ -amylase and $\alpha$ -glucosidase enzymes and its effect on enzymes inhibition activity

Ejtemaei, R. <sup>1</sup>, Ahmadi Gavlighi, H. <sup>2,3\*</sup>, Jalili Safaryan, M. <sup>4</sup>, Tabarsa, M. <sup>5</sup>

1. MSc, Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3. Institute for Natural Products and Medicinal Plants, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
4. PhD student, Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
5. Associate Professor, Department of Seafood Processing, Tarbiat Modares University, Nur, Iran.

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article History:

Received 2022/ 08/ 16  
Accepted 2022/ 10/ 08

#### Keywords:

Extraction,  
Maize fiber gum,  
Anti-diabetic,  
Phenolic compounds.

DOI: 10.22034/FSCT.19.132.51  
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.132.4.7

\*Corresponding Author E-Mail:  
Ahmadi\_ha@modares.ac.ir

Maize bran is the most common by-product of maize milling process and it is mainly used as animal feed. In this study, antioxidant and anti-diabetic activities of two types of maize fiber gum, FAX (fiber with phenolic compounds) and Y (fiber without phenolic compounds), were examined. In addition, intrinsic and extrinsic fluorescence intensity was assessed to explore the inhibitory mechanism of two enzymes,  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase. The results revealed that FAX had the highest DPPH radical scavenging property at  $39.74 \pm 0.399$   $\mu\text{molTE/g}$ , whereas Y had  $3.73 \pm 0.257$   $\mu\text{molTE/g}$ . Furthermore, the ABTS cationic radical scavenging activity in FAX was  $137.10 \pm 2.99$   $\mu\text{molTE/g}$ , whereas Y was  $29.68 \pm 1.17$   $\mu\text{molTE/g}$ . FAX had a higher inhibition rate of porcine  $\alpha$ -amylase enzyme activity than Y, and the difference was significant ( $p < 0.05$ ). FAX inhibited rat intestinal  $\alpha$ -glucosidase activity the highest (26.15%), whereas Y had no enzyme inhibition property at the concentration used. In addition, applying different concentrations of both fibers to  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase enzymes resulted in a decrease in fluorescence intensity; however, this intensity was higher for FAX. Both fibers were able of inhibiting both enzymes by changing the third structure of the enzyme via non-covalent bonds. Overall, the results showed that high phenolic fiber from maize bran can be consider as a natural source of antioxidant activity and inhibition of  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase enzymes, and that it can be used in the production of functional foods.