مروری بر جایگاه فیبر در تغذیه، سلامت، کاربرد و روش‌های اصلاح آن در صنایع غذایی

مروا حسینی[a*]، پیمان رجایی[b]

[a] *دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران*
[b] *استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱

چکیده

مقدمه: امروزه اثرات سلامت بخش فیبر رژیمی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. فیبر رژیمی در مواد غذایی مانند میوه‌ها، سبزیجات و غلات وجود دارند و دارای کالری و چربی کمی هستند.

مواد و روش‌ها: در این مقاله به بررسی انواع فیبر، خواص درمانی و روش‌های اصلاح آن پرداخته شده است.

یافته‌ها: فیبر کربوهیدراتی است که در بدن قابل تجزیه نیست و در دستگاه گوارش توسط آنزیم‌ها هضم نمی‌گردد. فیبرها شامل سلولز، همی‌سلولز، صمغ، مواد پکتیک و لیگنین هستند که به علت ظرفیت جذب گلوکز، ظرفیت جذب کلسترول، ظرفیت نگهداری روغن و کالری بسیار کم در کاهش و درمان بیماری‌هایی مانند چاقی، دیابت، انواع سرطان‌ها، بیماری‌های روده‌ای و بیماری‌های قلبی عروقی موثر هستند. بسیاری از ضایعات صنایع غذایی مانند تفاله میوه‌ها، هسته خرما و سبوس غلات منابع مهم فیبر رژیمی می‌باشند که می‌توان از آن‌ها به عنوان پری‌بیوتیک برای رشد و تکثیر باکتری‌های مفید روده استفاده نمود. فیبرها بر اساس خصوصیات فیزیکی به دو دسته محلول و نامحلول در آب تقسیم می‌گردند. فیبرهای نامحلول به علت طعم نامطلوب و عملکرد ضعیف مورد استفاده قرار نمی‌گیرند که به وسیله روش‌هایی مانند اصلاح فیزیکی، شیمیایی، آنزیمی و ترکیبی به فیبر محلول تبدیل می‌شوند. به دلیل هزینه پایین، زمان کوتاه، عملیات ساده و عدم تولید زباله سمی روش فیزیکی بیشترین کاربرد را دارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به توانایی فیبر در بهبود طعم، بافت، خواص حسی، رئولوژیکی و ایجاد قوام استفاده از آن‌ها در تولید محصولات غذایی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: *پری‌بیوتیک، دیابت، فیبر رژیمی، کاهش سرطان، کربوهیدرات.*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: morva1989@gmail.com

مقدمه

فیبر غذایی یکی از اجزای حیاتی یک رژیم سالم است. اولین بار در۱۹۵۳ اصطلاح فیبر غذایی توسط هیپسلی بیان و به اجزای گیاهی که هضم آن‌ها به وسیله آنزیم ها برای انسان دشوار است گفته شد. در دهه ۱۹۶۰ فیبر توجه بسیاری از کشورها مانند ایالات متحده، اروپا و ژاپن را جلب کرد و در سال ۱۹۷۶ ترول فیبر را به عنوان پلی‌ساکاریدهای گیاهی و لیگنین که در برابر هیدرولیز آنزیم‌های گیاهی مقاومند تعریف کرد. در سال ۲۰۰۲، انستیتوی پزشکی تعریفی از فیبر منتشر کرد که فیبرهای غذایی را از فیبر عملکردی متمایز می‌کند (McRorie *et al*., 2017). در سال ۲۰۰۹ طبق تعریف CAC[1] به پلیمرهای کربوهیدراتی با ده یا بیشتر واحد مونومر گفته می‌شود که توسط آنزیم‌های روده هیدرولیز نمی‌شوند (Gan *et al*., 2021). به دلیل پیچیدگی و ناهمگن بودن مولکول‌ها، بر اساس ساختمان شیمیایی، خواص فیزیکوشیمیایی و درجه پلیمریزاسیون به زیر گروه‌هایی دسته بندی می‌شوند که آخرین طبقه بندی انجام شده فیبر را به چهار زیرگروه الیگوساکاریدهای مقاوم، پلی ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای، نشاسته مقاوم و مواد مرتبط که شامل غیر کربوهیدرات‌ها می‌شوند تقسیم می‌نماید (Rezende *et al*., 2021). تعریف فیبر رژیمی (DF)[2] در کشورهای مختلف متفاوت است، به عنوان مثال انگلستان DF را بر اساس خواص شیمیایی و قابلیت هضم تعریف می‌کند، در حالی که ایالات متحده موادی را که در روده بزرگ تخمیر می‌شوند را در نظر می‌گیرد. نزدیکترین تعریف به کدکس را فرانسه دارد که در آن ترکیب و پلیمریزاسیون کربوهیدرات‌ها همراه با خواص فیزیولوژیکی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود (Dai *et al*., 2017). فیبر غذایی در چند دهه اخیر به دلیل فواید زیادی که دارد بسیار مورد توجه قرار گرفته است که می‌توان به فواید فیزیولوژیکی آن‌ها اشاره نمود (Mudgil *et al*., 2017). فیبرهای غذایی بخشی از مواد گیاهی، کربوهیدرات‌های ساختاری یا پیچیده هستند که در برابر شکستن در مسیر روده مقاومند زیرا بدن انسان آنزیم‌های لازم برای هضم آن‌ها را ندارد که باعث می‌شود بدون تغییر از بدن خارج شوند (Iqbal *et al*., 2022). کربوهیدرات‌ها از مهم‌ترین مواد مغذی هستند که از دو بخش غیر قابل هضم که شامل فیبرها و بخش قابل هضم که در تولید و حفظ انرژی بدن نقش عمده‌ای دارند تشکیل شده‌اند (Nagy *et al*., 2020). فیبر غذایی به عنوان هفتمین ماده مغذی برای انسان تعریف شده است که دارای فواید سلامتی بسیاری مانند بهبود فلور روده،کاهش گلوکز خون،کاهش خطر ابتلا به سرطان، افزایش حجم مدفوع، تقویت حرکات روده، کاهش احتمال چاقی و بیماری‌های قلبی عروقی می‌باشد (Gan *et al*., 2021; Theuwissen *et al*., 2008). از مهمترین روش‌های استخرج فیبر از منابع گیاهی می‌توان به فرآوری خشک، فراوری مرطوب، شیمیایی، وزن سنجی، آنزیمی، فیزیکی، میکروبی و ترکیبی نام برد که استفاده از روش مرطوب به دلیل استفاده از حداقل فراوری، مقرون به صرفه بودن و خلوص بالا بیشترین کاربرد را دارد (Maphosa *et al*., 2016). فیبر غذایی شامل فیبرهای محلول و نامحلول است. منابع غذایی فیبر محلول در سبزیجاتی مانند هویج، بروکلی، پیاز، کنگر و میوه‌هایی مثل موز، توت، سیب، گلابی و در حبوباتی مانند جو و جو دوسر وجود دارد. فیبر نامحلول در غلات کامل، گندم، سبوس، آجیل و دانه‌ها یافت می‌شود(Soliman *et al*., 2019). فیبر رژیمی را می‌توان به صورت فیزیکی و شیمیایی، آنزیمی و روش ترکیبی استخراج و اصلاح نمود (Snauwaert *et al*., 2023). سازمان غذا دارو (FDA)[3] تایید کرده است که با افزایش مصرف فیبر رژیمی از میوه، سبزیجات و غلات کامل که همراه با کاهش چربی مصرفی است می‌توان برخی از سرطان‌ها مانند سرطان کولورکتال، روده کوچک، دهان، حنجره و سینه را کاهش داد. فیبر از چند طریق می‌تواند به کاهش سرطان کمک کند که می‌توان به مواردی چون ۱) مقاومت آن در برابر هضم در روده کوچک، در نتیجه وارد روده بزرگ شده و با تخمیر، اسیدهای چرب کوتاه زنجیر تولید می‌کند که دارای خواص ضد سرطانی است ۲) مصرف فیبر با افزایش حجم و ویسکوزیته مدفوع همراه است که باعث می‌شود مواد سرطان زا در تماس کمتری با سلول‌های مخاطی باشند ۳) فیبر اتصال بین اسیدهای صفراوی و مواد سرطان‌زا را افزایش می‌دهد ۴) با

[1] Codex Alimentarius Commission
[2] Dietary fiber
[3] Food and Drug Administration

افزایش مصرف فیبر سطح آنتی اکسیدان‌ها نیز افزایش می‌یابد و فیبر مقدار استروژن دفع شده در مدفوع را به دلیل مهار جذب استروژن در روده افزایش می‌دهد. همچنین FDA تایید کرده است که با مصرف فیبرهای رژیمی خطر ابتلا به بیماری قلبی عروقی(CVD)[1] را می‌توان کاهش داد و مطالعات جدید نشان می‌دهد به ازای هر ۱۰ گرم فیبر اضافی که به رژیم غذایی اضافه می‌شود خطر مرگ و میر CHD[2] بین ۱۷ تا ۳۵ درصد کاهش می‌یابد. عوامل خطر CHD شامل کلسترول خون، فشار خون بالا، چاقی و دیابت نوع دو است که با کنترل و درمان این عوامل خطر ساز می‌توان از CHD پیشگیری کرد. فیبر از طریق ۱) افزایش سرعت دفع باعث کاهش کلسترول می‌شود ۲) با تولید اسیدهای چرب زنجیره کوتاه و به ویژه پروپیونات سنتز کلسترول را مهار می‌کند ۳) با تنظیم انرژی دریافتی، منجر به کاهش وزن می‌شود ۴) فیبر غذایی با کنترل قند خون می‌تواند خطر ابتلا به دیابت نوع دو را کاهش دهد ۵) سیتوکین‌های پیش التهابی مانند اینترلوکین۱۸ را کاهش می‌دهد که بر پایداری پلاک تاثیر دارد ۶) افزایش مصرف فیبر باعث کاهش سطح گردش پروتئین CRP[3] می‌شود که عامل CHD و التهاب است (Lattimer *et al*., 2010). به طور کلی مصرف متعادل فیبر اثرات سلامت بخش فراون و قابل توجهی دارد اما مصرف مقادیر زیاد آن می‌توان باعث اسهال، کم آبی بدن، القای سیری و در موارد نادر امکان انسداد روده شود (Hadri *et al*., 2020; Hervik *et al*., 2019).

- طبقه‌بندی فیبرها

فیبرها بر اساس حلالیت به دو گروه محلول و نامحلول تقسیم می‌شوند که اثرات فیزیولوژیکی متفاوتی دارند. فیبرهای غذایی محلول شامل β-گلوکان، گالاکتومانان، پکتین، پسیلیوم، صمغ، الیگوساکاریدها، اینولین و نشاسته مقاوم هستند و فیبرهای نامحلول شامل سلولز، همی‌سلولز، کیتوزان و لیگنین می‌باشند (Mudgil *et al*., 2017; Theuwissen *et al*., 2008). فیبر نامحلول به جذب آب و تنظیم روده مربوط می‌شود و فیبر محلول با کاهش کلسترول خون و کاهش جذب گلوکز توسط روده کوچک مربوط است و نقش مهمی در فرایندهای گوارشی و جذبی دارد که مربوط به ویژگی پری‌بیوتیکی آن است (Yangilar, 2013). فیبرهای غذایی بر اساس پارامترهای مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند که می‌توان به ساختارشیمیایی، حلالیت و ویسکوزیته آن‌ها در آب و قابلت تخمیر اشاره نمود. فیبرهای غذایی به پلی‌ساکاریدها تقسیم می‌شوند که شامل پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای (NSPs)، نشاسته مقاوم (RS) و الیگوساکارید مقاوم هستند (Makki *et al*., 2018). همانطور که گفته شد از نظر قابلیت حل شدن، فیبر شامل دو نوع فیبر غذیی محلول (SDF)[4] و فیبر غذایی نامحلول (IDF)[5] است (Yang *et al*., 2017). اشکال نامحلول حجیم کننده مدفوع هستند زیرا توسط روده هضم نمی‌شوند یا به آرامی هضم می‌شوند. فیبرهای محلول که توسط باکتری‌های روده تخمیر می‌شوند تولید متابولیت‌هایی مانند اسیدهای چرب کوتاه زنجیر می‌کنند(Makki *et al*., 2018). فیبرهای غذایی محلول عملکرد بهتری دارند ولی فیبرهای نامحلول بیشتر در رژیم غذایی وجود دارند (Lin *et al*., 2020). فیبر غذایی نامحلول به دلیل ظرفیت نگهداری ضعیف آب، قدرت تورم ضعیف، فعالیت عملکردی ضعیف و طعم نامطلوبی که دارد زیاد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، به همین جهت به وسیله تصفیه صنعتی فیبر غذایی نامحلول را به فیبر محلول تبدیل می‌کنند (Ma *et al*., 2022). تجزیه‌ی فیبر محلول به ملکول‌های کوچکتر توسط باکتری‌ها انجام می‌شود و به آن توانایی تخمیر پذیری می‌گویند که بر تنوع میکروبی و عملکرد دستگاه گوارش تاثیر گذاشته و در روده بزرگ منجر به تولید اسید چرب کوتاه زنجیر می‌شود که اثرات مفیدی مانند ضدالتهابی و ضدتکثیری دارد (Iqbal *et al*., 2022). محصولات جانبی مانند پوست، تفاله سبوس و باقیمانده‌های پس از آبگیری نیز دارای فیبر بالایی هستند که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند که باعث هدر رفتن منابع و آلودگی محیط زیست می‌شوند (Gan *et al*., 2021). همچنین از فیبرهای رژیمی برای بهبود طعم، رنگ، بافت و مزایای سلامتی بخش آن استفاده می‌شود (Mudgil *et al*., 2017).

[1] Cardiovascular Disease [2] Coronary Heart Disease [3] C-Reactive Protein [4] Soluble Dietary Fiber [5] Insoluble Dietary Fiber

- فیبرهای محلول

فیبرهای محلول مانند پکتین، صمغ‌ها، اینولین و موسیلاژها توانایی به دام انداختن آب و افزایش ویسکوزیته را دارند که منجر به تغییر در سرعت عبور و جذب مواد مغذی می‌شود (Tejeda *et al*., 2020). از انوع فیبرهای محلول که در صنایع لبنی کاربرد دارند می‌توان به اینولین (IN)[1] و الیگوفروکتوز[2] اشاره نمود (Ambuja *et al*., 2018).

اینولین پلی‌ساکاریدی گیاهی از نوع فروکتان است و در آرتیشو، کاسنی، کنگرفرنگی، سیر، پیاز، مارچوبه و کوکب یافت می‌شود که به عنوان پری‌بیوتیک باعث تنظیم فلور میکروبی روده، جلوگیری از یبوست، تنظیم قند خون، تنظیم چربی خون، آنتی‌اکسیدان، ضد سرطان، افزایش ایمنی و افزایش جذب مواد معدنی و ویتامین‌ها می‌شود و به عنوان فیبر غذایی عملکردی طبیعی کاربرد گسترده‌ای در صنایع غذایی و دارویی دارد. از اینولین در صنایع غذایی به عنوان غلیظ کننده، جایگزین چربی، شیرین کننده و عامل نگهدارنده آب استفاده می‌شود. در داروسازی به عنوان تثبیت کننده، حامل دارو و برای درمان برخی از بیماری‌ها کاربرد دارد (Illippangama *et al*., 2022; Wan *et al*., 2020). اینولین باعث رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید روده می‌شود و باکتری‌های انتروپاتوژن را مهار می‌کند که میکروارگانیسم‌های مفید با تخمیر اینولین باعث تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (SCFA)[3] می‌شوند در نتیجه باعث کاهش pH روده بزرگ می‌شوند که می‌تواند عوامل بیماری‌زا مهار کند. مطالعات نشان داده مصرف بیش از حد نیاز روزانه به فیبر رژیمی مانند اینولین می‌تواند باعث ناراحتی گوارشی شود (Teferra, 2021). مصرف اینولین می‌تواند باعث کاهش تری‌گلیسرید و کلسترول خون شود. اینولین دارای طعمی مطبوع، کمی شیرین، بی‌رنگ و بی‌بو است و حلالیت آن در آب به دما بستگی دارد. اینولین بسته به درجه پلیمریزاسیون در هر دو دسته فیبر محلول و نامحلول قرار می‌گیرد. استفاده از آن در محصولاتی مانند بستنی یا پنیر باعث بهبود بافت و حس دهانی می‌شود. اینولین حاوی ملکول‌های عمدتا بلند زنجیر هستند که به عنوان جایگزین چربی از آن استفاده می‌شود زیرا در حضور آب تشکیل ژل می‌دهند و باعث اصلاح بافت و ایجاد حس چربی مانند در دهان می‌گردد (Ambuja *et al*., 2018).

پکتین[4] پلی‌ساکاریدی است که از دیواره سلولی گیاهان بدست می‌آید و محلول در آب است. همچنین پکتین گیاهی را می‌توان از سیب، مرکبات و ضایعات کشاورزی تولید نمود که در راستای کمک به محیطزیست است. اصطلاح پکتین گروهی از الیگوساکاریدها و پلی‌ساکاریدها را توصیف می‌کند که دارای ویژگی‌های مشترک و ساختاری متفاوت هستند (Freitas *et al*., 2021; Liang *et al*., 2020). پکتین ماکروملکولی با وزن ملکولی بالاست که توانایی تولید هیدروژل را دارد و دارای ساختار پیچیده‌ای است که توسط هموگالاکتورونان (HG)[5]، رامنوگالاکتورونان (RGI)[6]، رامنوگلاکتورونان(RGII)[7] و زایلوگالاکترونان (XG)[8] تشکیل شده است. پکتین‌ها بر اساس منبع و روش استخراج ساختار متنوعی از خود نشان می‌دهند. همچنین پکتین به تغییرات فیزیکی، شیمیایی و آنزیمی حساس است. از آن در صنایع غذایی، پوشش‌های خوراکی و فیلم‌های ضد میکروبی، کشاورزی، زیست پزشکی، داروسازی و کمک به درمان سرطان استفاده می‌شود (Freitas *et al*., 2021; Ropartz *et al*., 2020). در صنایع غذایی از آن به عنوان عامل ژل کننده، غلیظ کننده و تثبیت کننده در محصولاتی مانند ماست، شیرینی پزی و نوشیدنی‌های لبنی استفاده می‌شود (Ambuja *et al*., 2018). از مهم‌ترین مزایای آن می‌توان به سازگاری زیستی، غیر سمی بودن، زیست تخریب پذیری و هزینه کم شاره نمود (Li *et al*., 2020).

β–گلوکان[9] که از نظر ساختاری از پیوندهای β–(1,3) و β–(1,4) تشکیل شده و بیشتر در جو، گندم، مخمر، بسیاری از قارچ‌ها و باکتری‌ها وجود دارند (Ambuja *et al*., 2018).

پلی‌فروکتان[10] فیبری محلول است و منبع SDF که ویسکوزیته کمتری نسبت به سایر پلی‌ساکاریدها دارد و از آن در محصولات نانوایی و لبنیات استفاده می‌شود. افزودن پلی‌فروکتان و آسپرتام یا دیگر شیرین کننده‌های مصنوعی می‌تواند به عنوان عامل حجم دهنده کم کالری و جایگزین چربی در محصولاتی مانند بستنی استفاده گردد (Ambuja *et al*., 2018).

---

[1] Inulin [2] Oligofructose [3] Short-chain Fatty Acids [4] Pectin [5] Homogalacturonan [6] Rhamnogalacturonan I [7] Rhamnogalacturonan II [8] Xylogalacturonan [9] β-glucan [10] Polyfructan

صمغ‌ها یا هیدروکلوییدها منبع غنی از فیبر محلول هستند که می‌توان به صمغ گوار، صمغ خرنوب، صمغ اقاقیا، صمغ کتیرا، صمغ کاراگینان و آلژینات اشاره نمود. صمغ خرنوب یک گالاکتومان و یک پلی‌ساکارید خطی مبتنی بر بتامانان است. این صمغ با ایجاد ویسکوزیته بالا در غلظت‌های پائین و عملکردش به عنوان اتصال دهنده آب، به عنوان افزودنی در صنایع غذایی کاربرد دارد و فیبر موجود در غذا را بدون افزودن کالری بالا می‌برد (Dakia, 2011). پلی‌ساکاریدهای موجود در میوه خرنوب از جمله صمغ و فیبر خرنوب در صنایع مختلف دیگری مانند داروسازی، آرایشی، کاغذ و نساجی نیز کاربرد دارد. صمغ آن یک گالاکتومانان است که از آندوسپرم بذر درخت خرنوب بدست می‌آید و فیبر آن با حذف بیشتر کربوهیدرات‌های محلول در خمیر خرنوب با استخراج آب بدست می‌آید. دانه خرنوب از سه جز اصلی صمغ، پلی‌فنول‌ها و پروتئین تشکیل است. از خواص آن می‌توان به کمک به درمان سرطان روده بزرگ، بیماری قلبی، حرکات روده، دیابت، بیماری‌های گوارشی و کاهش اسهال کودکان اشاره نمود (Zhu *et al*., 2019).

آلرژینات[1] یک هیدروکلویید یا ساکارید پلی‌اورونیک است که از دیواره سلولی جلبک‌های قهوه‌ای جدا می‌شوند و یا به صورت خارج سلولی توسط باکتری‌های خاصی تولید می‌شوند و از این صمغ بیشتر در تولید بستنی و آدامس استفاده می‌شود (Ambuja *et al*., 2018). صمغ کاراگینان[2] نیز از جلبک‌های دریایی استخراج می‌شود و منبع فیبر محلول است که برای غلیظ کردن محصولات غذایی استفاده می‌شود (Ambuja *et al*., 2018).

- فیبرهای نامحلول

فیبرهای نامحلول مانند سلولز، همی‌سلولز و لیگنین در جذب مواد غذایی تداخلی ایجاد نمی‌کنند و باعث هضم بیشتر نشاسته می‌شود (Tejeda *et al*., 2020).

سلولز[3] از منومرهای گلوکز β-(1,4) تشکیل شده که گسترده‌ترین و فراوان‌ترین پلی‌ساکارید در طبیعت است و بیش از ۵۰ ٪ از کربن موجود در گیاهان را به خود اختصاص می‌دهد. سلولز از اجزای اصلی دیواره سلولی گیاه است و در غلات، میوه‌ها و سبزیجات یافت می‌شود (Fischer *et al*., 2020). از روش‌های جداسازی آن می‌توان به شیمیایی، مکانیکی و بیولوژیکی اشاره نمود که برای تولید سلولز با شکل و اندازه‌های مختلفی چون سلولز میکروکریستالی، سلولز میکروفیبریل شده، سلولز نانوکریستالی و سلولز نانوفیبریل شده استفاده می‌شود (Nsor-Atindana *et al*., 2017). از مهم‌ترین ویژگی‌های آن می‌توان پایداری، در دسترس بودن، قابلیت تجدید پذیری و غیر سمی بودن آن اشاره نمود. از دیگر کاربردهای آن می‌توان به صنایع بسته بندی و تولید بسته‌بندی‌های زیست تخریب پذیر، داروسازی، پزشکی و صنایع غذایی اشاره نمود. در راستای بهبود و افزایش کیفیت مواد غذایی، به ویژه برای تولید نوشیدنی و آبمیوه از آن استفاده می‌شود. نانو بلورهای سلولز می‌تواند امولسیون‌های پایداری ایجاد کند که بافت و کیفیت محصول را افزایش می‌دهد (Mu *et al*., 2019; Lavanya *et al*., 2011).

همی‌سلولز[4] دومین پلی‌ساکارید فراوان در طبیعت است که از گیاهان بدست می‌آید و حدود یک سوم دیواره سلولی را شامل می‌شود. همی‌سلولز از منابع طبیعی متفاوتی مانند آنژیوسپرم‌ها، ژیمنوسپرم، بریوفیت‌ها، سرخس‌ها و کروفیت‌ها بدست می‌آید. همی‌سلولز شامل زایل‌گلوکان‌ها، زایلان‌ها، مانان‌ها و گلوکومانان‌ها است. از آن می‌توان به طور مستقیم یا غیر مستقیم پس از اصلاحات ساختاری یا شیمیایی در صنایعی چون مواد غذایی و دارویی استفاده نمود. از خواص آن می‌توان به افزایش ایمنی، ضد تومور، آنتی‌اکسیدان، کاهش چربی، کاهش قند خون، کاهش وزن، درمان یبوست و تنظیم کننده میکروبیوتاسیون روده اشاره نمود (Gao *et al*., 2023).

لیگنین[5] از نوع غیر کربوهیداتی فیبر غذایی است و در میوه و سبزیجات وجود دارد. لیگنین پیش ساز لیگنان که فیتواستروژن است می باشدو خواص ضد سرطانی دارد و می‌تواند در پیشگیری از سرطان سینه نقش داشته باشد (Ambuja *et al*., 2018). لیگنین اولین پلیمر معطر در طبیعت و دومین پلیمر طبیعی فراوان درجهان است و در مقایسه با سلولز، همی‌سلولز و دیگر پلیمرهای زیستی، ماکروملکولی بسیار پیچیده است که بسته به گونه گیاهی،

[1] Alginate [2] Carrageenan [3] Cellulose [4] Hemicelluloses [5] Lignin

سن، شرایط رشد و روش جداسازی ساختار و پیوند بین ملکولی مختلفی دارد (Torres *et al*., 2020; Chio *et al*., 2019). لیگنین شامل گروه‌های هیدروکسیل آلیفاتیک، هیدروکسیل فنولیک و متوکسیل می‌باشد که در خواص شیمیایی و واکنش پذیری لیگنین موثر می‌باشند. گروه هیدروکسیدآلیفاتیک فراوانترین آن‌ها می‌باشد (Chio *et al*., 2019).

- استفاده از فیبر به عنوان پری‌بیوتیک

سندرم متابولیک (MetS)[1] در جهان رو به افزایش است که مشخصه‌های آن چاقی، فشار خون بالا، دیابت نوع دو (T2D)[2] و مقاومت به انسولین[3] (IR) است و با تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد استفاده از پری‌بیوتیک‌ها می‌تواند اثرات مفیدی بر سلامت داشته باشد (Jakobsdottir *et al*., 2014). مهم‌ترین باکتری‌های پروبیوتیک شامل لاکتوباسیلوس‌ها و بیفیدوباکتریوم‌ها هستند و پری‌بیوتیک‌ها ترکیبات غیر قابل هضم و با قابلیت تخمیر هستند که می‌توانند باعث رشد و تکثیر باکتری‌های مفید شوند. استفاده همزمان از پری‌بیوتیک‌ها و پروبیوتیک‌ها در فرمولاسیون مواد غذایی همزیستی ایجاد می‌کند که می‌تواند اثرات مفیدی مانند ضد سرطانی، ضد حساسیت، ضد میکروبی، محرک سیستم ایمنی و تقویت سیستم گوارش را برای میزبان به همراه داشته باشد (Hosseiny and Sedaghati, 2023). فیبر به عنوان سوبسترا، غذای میکروارگانیسم‌های مفید است و به عنوان پری‌بیوتیک عمل می‌کند که می‌تواند سلامت میزبان را بهبود بخشد و الیگوساکاریدها شناخته شده‌ترین پری‌بیوتیک‌ها هستند (Chawla *et al*., 2010). پری‌بیوتیک‌ها به عنوان مواد غذایی غیر قابل هضم که با تحریک رشد یا افزایش فعالیت باکتری‌ها در روده بزرگ تاثیر مفیدی بر روی میزبان می‌گذارند و باعث بهبود سلامت میزبان می‌گردند تعریف می‌شوند. اگرچه تمام پری‌بیوتیک‌ها فیبر هستند، اما همه فیبرها پری‌بیوتیک نیستند. برای طبقه بندی مواد غذایی به عنوان پری‌بیوتیک باید مقاوم به اسیدیته معده، عدم هیدرولیز توسط آنزیم‌های پستانداران، مقاوم در برابر جذب در دستگاه گوارش باشند، توسط میکروفلور روده تخمیر و توانایی تحریک باکتری‌های مفید روده را داشته باشند. روده با بیش از ۱۰۰۰ گونه مختلف باکتری، از مهم‌ترین اندام‌های گوارشی و موثر در ایمنی است که پری‌بیوتیک‌ها نقش مهمی در تغییر و بهبود میکرو فلور روده دارند. محیط کولون به دلیل زمان انتقال آهسته، وجود مواد مغذی و pH مطلوب، برای رشد باکتری‌ها مناسب است که با تغییر رژیم غذایی می‌توان جمعیت باکتری‌های مفید روده را افزایش داد و باعث بهبود سلامتی فرد شد. همانطور که گفته شد تمام پری‌بیوتیک‌ها ترکیبات کربوهیدراتی هستند که در برابر هضم در روده کوچک مقاوم هستند و به روده بزرگ می‌رسند. الیگوساکاریدها، اینولین، الیگوفروکتوز، لاکتوز و نشاسته مقاوم با تحریک باکتری‌های مفید مانند بیفیدوباکتریوم و لاکتوباسیلوس به عنوان پری‌بیوتیک عمل می‌کنند و پس از تخمیر میکروبی با تولید اسید چرب کوتاه زنجیر (SCFA)[4] به ویژه استات، پروپیونات و بوتیرات و تاثیر بر فیزیولوژی میزبان باعث سلامتی می‌گردند (Slavin *et al*., 2013; Abdi *et al*., 2021; Rezende *et al*., 2021; Pop *et al*., 2021).

- تاثیر فیبر بر سلامت

تعداد بیماران چاق در سال‌های اخیر رو به افزایش می‌باشد که تهدیدی برای سلامت انسان و باعث نگرانی برای تمام گروه‌های سنی است، به‌طوری که از ۴ درصد در سال ۱۹۷۵ به بیش از ۱۸ درصد در سال ۲۰۱۶ افزایش یافته و در سال ۲۰۲۲ از هر سه کودک اتحادیه اروپا یک کودک به چاقی مبتلا گشته (Visuthranukul *et al*., 2022). تحقیقات زیادی در رابطه با تاثیر فیبر بر کنترل وزن و عدم بروز چاقی و کمک به رژیم غذایی انجام شده است که نشان می‌دهد میزان دریافت فیبر با تغییر وزن دارای رابطه معکوس است که بیشتر به دلیل کاهش چربی بدن است .از طرفی دیگر افرادی که فیبر بیشتری مصرف می‌کنند تمایل بیشتری به کاهش مصرف چربی رژیم غذایی خود دارند. هر دو فیبر محلول و نامحلول می‌توانند منجر به کاهش وزن در رژیم غذایی فرد شوند (Ötles *et al*., 2014; Howarth *et al*., 2001). فیبر با متعادل کردن مصرف غذا، هضم، جذب و متابولیسم باعث کاهش جذب چربی و کاهش انرژی دریافتی می‌شود. همچنین مصرف فیبر باعث

[1] Metabolic Syndrome [2] Type 2 Diabetes [3] Insulin Resistance [4] Short-chain Fatty Acids

جذب آب و افزایش سیری می‌شود و در نتیجه سلول چربی را کاهش می‌دهد و باعث کاهش و بهبود چاقی می‌شود (He *et al*., 2022). توانایی فیبر غذایی برای کاهش وزن به وسیله عوامل متعددی صورت می‌گیرد که می‌توان به مواردی چون تخمیر فیبر در روده بزرگ و تولید پپتید شبه گلوکاگول (GLP-1) و پپتید (PYY) که این دو هورمون در القای سیری نقش دارند و همچنین کاهش تمایل به مصرف چربی با افزایش فیبر اشاره نمود (Lattimer *et al*., 2020). در چند دهه گذشته بروز دیابت به ویژه نوع دو رشد بسیاری داشته که پیشگیری و درمان آن امری ضروری است. طبق تحقیقات رابطه زیادی بین فیبر و دیابت نوع دو وجود دارد. به طور مثال مصرف مداوم فیبر باعث کاهش سرعت جذب گلوکز، جلوگیری از افزایش وزن و باعث افزایش مواد مغذی و آنتی‌اکسیدان‌های مفید در رژیم غذایی فرد می‌شود که در پیشگیری از دیابت کمک می‌کند. در مطالعه‌ای که بر روی زنان انجام شد نشان داد زنانی که به طور متوسط در روز ۲۶ گرم فیبر رژیمی مصرف می‌کردند، ۲۲ درصد کمتر از زنانی که ۱۳ گرم فیبر رژیمی مصرف می‌کردند در معرض ابتلا به دیابت قرار داشتند. ساختار شبکه‌ای فیبر با ایجاد مانع فیزیکی می‌تواند انتشار گلوکز را به تاخیر بیندازد. ذرات فیبری به عنوان یک مانع فیزیکی برای مولکول‌های گلوکز و به دام افتادن گلوکز در شبکه تشکیل دهنده الیاف عمل می‌کنند. هنگامی که ساختار DF شل و متخلخل می‌شود و گروه های عملکردی با سطح بیشتری در معرض دید قرار می‌گیرند، برهمکنش بین DF و گلوکز افزایش یافته و GAC بهبود می‌یابد (Ma *et al*., 2022; Lattimer *et al*., 2020). مصرف بالای فیبر با کاهش مرگ و میر به ویژه در اثر بیماری‌های التهابی گردش خون، گوارشی و سرطان مرتبط است. سرطان از اصلی‌ترین مشکلاتی است که سلامتی را به طور جدی تهدید می‌کند که پیشگیری و درمان آن به امری ضروری تبدیل شده است. از آنجایی که سرطان و عادات غذایی با هم مرتبط هستند با رژیم غذایی که همراه با مصرف فیبر بالاست می‌توان از بروز انواع سرطان جلوگیری کرد (He *et al*., 2022). از عوامل اصلی مرگ و میر، بیماری قلبی و عروقی، سکته مغزی و فشار خون بالاست که مربوط به مصرف سیگار، رژیم غذایی و فعالیت بدنی است. با دریافت فیبر غذایی از طریق مصرف محصولاتی مانند غلات کامل، میوه و سبزیجات می‌توان خطر سکته مغزی را کاهش داد (Anderson *et al*., 2009). افسردگی یکی از علل ناتوانی به ویژه در نوجونان و جوانان است. افسردگی با افزایش میل به غذاهای سرشار از قند و چربی در ارتباط است که باعث ضعیف شدن رژیم غذایی فرد می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد با رژیم غذایی مناسب و غنی از فیبر می‌توان سلامت روانی را بیشتر کرد و خطر افسردگی و علائم آن را کاهش داد (Swann *et al*., 2020). مطالعات نشان داده بین التهاب و افسردگی رابطه وجود دارد و رژیم غذایی پرفیبر و کاهش ترکیبات التهابی غلظت انتقال دهنده‌های عصبی را تغییر می‌دهد که باعث کاهش خطر ابتلا به افسردگی است. همچنین فیبر با تاثیر بر میکروبیوم روده و افزایش باکتری‌های پروبیوتیک باعث اثر قابل توجه بر افسردگی می‌گردد. علاوه بر این سبک زندگی سالم و داشتن رژیم غذایی مناسب و دارای فیبر باعث بهبود طول‌عمر و کاهش مرگ‌ومیر می‌گردد (Barber *et al*., 2020). از آنجایی فیبرهای غذایی رشد باکتری‌های مفید روده را افزایش می‌دهند، می‌توانند متابولیت‌های مفیدی تولید کنند که خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت و بیماری روده را کاهش می‌دهند (Mudgil *et al*., 2017). فیبر غذایی یکی از اجزای حیاتی یک رژیم غذایی سالم است که فواید آن را می توان به فرآیندهای موجود در میکروبیوم روده و محصولات جانبی ناشی از آن نسبت داد. مطالعات ارتباط بین مصرف فیبر غذایی، افسردگی و التهاب نشان می‌دهد که می‌تواند به اصلاح بیان ژن توسط میکروبیوتا و افزایش تولید انتقال‌دهنده‌های عصبی منجر شود. یک رژیم غذایی با فیبر بالا به طور چشمگیری التهاب را با اصلاح pH و نفوذپذیری روده کاهش می دهد. کاهش حاصل در ترکیبات التهابی ممکن است غلظت انتقال دهنده های عصبی را برای کاهش علائم افسردگی تغییر دهد (Swann *et al*., 2020).

- روش های اصلاح فیبر

برای اصلاح فیبرهای غذایی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که شامل روش فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و ترکیبی است (Gan *et al*., 2021). هدف از اصلاح فیبر افزایش ارزش اقتصادی، استفاده بهینه از گیاهان و

محصولات جانبی آن‌ها و پاسخ به تقاضای رو به رشد آن است (Gan *et al*., 2021).

روش‌های فیزیکی شامل اکستروژن، اولتراسوند، فشار هیدرواستاتیک بالا، پردازش بخار، ماکروویو و خرد کردن می‌باشد که با استفاده از دمای بالا، فشار بالا، سرعت بالا، کاهش فشار، انفجار، ضربه یا برش، پیوند گلیکوزیدی DF شکسته یا ذوب می‌شود. در روش پردازش بخار با استفاده از دمای بالا و فشار بالا، بخار به بافت گیاهی و دیواره سلولی وارد می‌شود (Gan *et al*., 2021). اولتراسوند روشی ملایم و ساده می‌باشد که اصلاح در دمای اتاق اتفاق می‌افتد. با قرار گیری مواد خام در ژنراتور اولتراسوند، پیوند شیمیایی پلی‌ساکاریدها شکسته می‌شود. کاویتاسیون باعث پارگی دیواره می‌شود و ساختار پلیمر کربوهیدراتی، بافت را شل و تغییر می‌دهد و باعث انحلال بهتر می‌شود (Gan *et al*., 2021). در پخت اکستروژن تخریب پلیمر صورت نمی‌گیرد و تبادل کاتیونی نیز تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد (Yangilar. 2013). روش فیزیکی به دلیل هزینه کم، عملکرد ساده و عدم تولید زباله‌های سمی به طور گسترده در اصلاح فیبر استفاده می‌شود. از معایب برخی ازروش‌های فیزیکی می‌توان به نیاز به فضای عملیاتی زیاد، تولید غبار و استنشاق آن توسط ریه و ایجاد بخار با دمای بالا و فشار بالا که می‌تواند باعث سوختگی اپراتور شود اشاره نمود. پیوند گلیکوزیدی فیبر با استفاده از یک روش فیزیکی که در آن از دمای بالا، فشار بالا، کاهش فشار قوی، انفجار، برش و ضربه با سرعت بالا اعمال می‌شود شکسته و یا ذوب می‌گردد (Ma *et al*., 2022).

روش شیمیایی با استفاده از واکنش‌های شیمیایی برای تغییر در خواص عملکردی و ساختاری باعث اصلاح فیبر می‌شود که می‌توان به تیمار پراکسید هیدروژن قلیایی (AHP)، تیمار قلیایی، تیمار اسیدی و تیمار Na_2HPO_4 اشاره نمود. AHP باعث تجزیه سلولز و تغییر و بهبود خواص عملکردی فیبر می‌شود. AHP با مخلوط کردن پراکسید هیدروژن و هیدروکسید سدیم تولید می‌شود. در روش شیمیایی در مقایسه با روش فیزیکی، زمان پردازش کوتاه‌تر است و همچنین می‌تواند در دمای اتاق واکنش صورت گیرد ولی فیبرهای رژیمی اصلاح شده دارای خلوص پایین و مستعد تولید اجزای مضر است (Ma *et al*., 2022; Gan *et al*., 2021).

روش بیولوژیکی با استفاده از آنزیم‌ها و میکروارگانیسم‌های خاص برای هیدرولیز یا تخمیر آنزیمی مواد خام و با هدف تغییر محتوی و زیست فعالی فیبر رژیمی استفاده می‌شود. این روش به دلیل ملایم بودن و سازگاری با محیط زیست به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. از معایب روش بیولوژیکی می‌توان به هزینه‌های بالای خالص‌سازی آنزیم و پرورش سویه اشاره نمود (Ma *et al*., 2022).

روش ترکیبی از ترکیب دو یا چند روش برای اصلاح فیبرهای رژیمی استفاده می‌شود. با توجه به سختی روش شیمیایی و نیازمند بودن روش بیولوژیکی به محیط ملایم، روش فیزیکی بیشترین کاربرد را دارد که می‌توان با هزینه کم، در زمانی کوتاه، عملیات ساده و عدم تولید زباله سمی از آن استفاده نمود (Ma *et al*., 2022; Gan *et al*., 2021).

در سال‌های اخیر روش جدیدی توسط محققین مورد مطالعه قرار گرفته است که به آن فناوری انفجار بخار (SE)[1] یا اتوهیدرولیز گویند. در این روش با فشار به دیواره‌های سلولی و بافت گیاه توسط بخار با فشار و دمای بالا به علت عمل حرارتی پخت با دمای بالا و پارگی فیزیکی باعث انفجار سلول می‌گردد. از مزایای این روش می‌توان به کاربرد گسترده، راندمان بالا در زمان کوتاه، عدم آلودگی و سازگاری با محیط زیست اشاره نمود (Ma *et al*., 2022).

- تهیه فیبر از ضایعات مواد غذایی

امروزه ضایعات یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی است. ضایعات به بخش‌های مصرف نشده میوه و سبزیجات که شامل برگ، پوست، ریشه، ساقه، پالپ، تفاله، هسته، و دانه گفته می‌شود که مطالعات نشان داده شامل ترکیبات زیست فعال و مواد مغذی ضروری هستند که با آگاهی و مدیریت درست می‌توان از هدر رفت آن جلوگیری کرد. به عنوان مثال ضایعات حاصل از فرآوری‌ها در صنعت میوه و سبزی حدود ۲۵ تا ۳۰ ٪ تخمین زده شده است که تفاله‌ها از آن جمله می‌باشند و منبع غنی از فیبر هستند. پوست موز

[1] Steam Explosion

شامل ۳۵ ٪ هدر رفت، فراوری سیب حدود ۱۱ ٪ تفاله، فراوری آناناس برای تولید آبمیوه حدود ۳۰ ٪ ، در فراوری انبه حدود ۲۳٪ دانه و پوست و ۱۸ ٪ خمیر غیر قابل استفاده، فراوری انگور ۲۰ ٪، پوست گوجه فرنگی ۲۰ ٪ و در مورد مرکبات این مقدار به ۵۰ ٪ می‌دسد که با استفاده بهینه از این مواد می‌توان از مقدار هدر رفت آن‌ها کاست. به عنوان مثال تفاله سیب پس از استخراج آب دور ریخته می‌شود که منبع خوبی از فیبر است و تفاله حاوی حدود ۱۵ ٪ فیبر غذیی محلول و ۳۶ ٪ فیبر غذایی نامحلول و همچنین پوست سیب شامل ۱ ٪ فیبر محلول و ۱۲ ٪ فیبر نامحلول است. تفاله انگور منبع فیبر غذایی و در پژوهشی مقدار آن را ۷۸ ٪ عنوان کردند که شامل ۱۰ ٪ فیبر غذایی محلول و ۶۸ ٪ فیبر نامحلول بود. مطلعات نشان داده خمیر و پوست هلو که از ضایعات فراوری است حدود ۳۱ تا ۳۶ ٪ فیبر غذایی و این مقدار در پرتقال به ۳۵ تا ۳۷ ٪ می‌رسد که سرشار از سلولز و همی‌سلولز است. همچنین مطالعات مقدار فیبر تفاله هویج را ۶۴ ٪ که حاوی ۵۰ ٪ فیبر غذایی نامحلول و ۱۴ ٪ فیبر محلول است و مقدار فیبر در پوست تازه هویج پس از بلانچ کردن از ۴۵ ٪ به ۷۳ ٪ افزایش پیدا کرد. با افزودن ضایعات به محصولاتی مانند کیک و شیرینی، پاستا و لبنیات می‌توان علاوه بر کاهش ضایعات این محصولات را نیز غنی نمود (Hussain *et al*., 2020; Lyu *et al*., 2020).

- کاربردهای فیبر در صنایع غذایی

یکی از چالش‌های صنعت غذا افزایش جمعیت و افزایش مصرف مود غذایی است. همچنین بسیاری از مصرف کنندگان با افزایش آگاهی، تمایل به مصرف مواد غذایی سالمتر و با کیفیت‌تر دارند که متخصصین برای پاسخگویی به نیاز جامعه و در راستای حفظ و کمک به محیط زیست به دنبال تغییر فرمولاسیون در مواد غذایی هستند (Gamonpilas *et al*., 2021). امروزه فیبر غذایی به محصولاتی مانند نوشیدنی‌ها، محصولات پخته شده، شیرینی و کیک، لبنیات، گوشت، ماکارونی و سوپ اضافه می‌شود. جایگزین کردن سبوس گندم، سبوس جو، سلولز و پوست سیب‌زمینی با آرد گندم در محصولات نانوایی و شیرینی به منظور حفظ طراوت و جلوگیری از کاهش رطوبت، بهبود بافت و حس دهانی، بهبود طعم و جلوگیری از ضرر اقتصادی استفاده می‌گردد. مصرف توصیه شده غلات کامل و جایگزین کردن آن با غلات تصفیه شده در کشورهای مختلف متفاوت است، به عنوان مثال ایالت متحده مصرف بهینه برای محصولات سبوس‌دار را حداقل ۸۵ گرم در روز توصیه می‌شود (Joye *et al*., 2020; Zinina *et al*., 2019). از نشاسته مقاوم بتاگلوکان در شیرینی و غلات صبحانه استفاده می‌شود. در شکلات از فیبرهایی مانند اینولین و الیگوفروکتوز به عنوان جایگزین قند و برای تولید محصول کم کالری استفاده می‌شود. استفاده از فیبر در محصولات گوشتی برای بهبود عملکرد پخت، بهبود بافت، اتصال آب و پیوند چربی کاربرد دارد. در پژوهشی از فیبر رژیمی پرتقال (ODF)[1] و اسانس پونه کوهی (OEO)[2] در سوسیس بولونیا استفاده گردید و باعث بهبود بافت و افزایش ماندگاری محصول گردید.همچنین از هویج به عنون پودر فیبر رژیمی آنتی‌اکسیدانی، هلو، گندم و پروتئین سویا نیز برای غنی‌سازی گوشت و فراورده‌های گوشتی استفاده می‌شود. در صنعت نوشیدنی فیبر برای افزایش ویسکوزیته و پایداری آن‌ها کاربرد دارد. استفاده از فیبرهای غذایی در محصولات لبنی نیز کاربرد دارد به عنوان مثال اینولین باعث بهبود احساس دهانی می‌شود و سینرسیس در محصولات تخمیر شده مانند ماست کاهش می‌دهد. برای حفظ پایداری در مربا و مارمالاد از پکتین استفاده می‌شود. افزودن فیبر مرکبات به مواد غذایی باعث بهبود بافت، جایگزین قند، جایگزین چربی، برای افزودن رنگ به محصول گشته و همچنین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی افزوده می‌شود. اضافه کردن فیبر غذایی به اصلاح و بهبود بافت، ویژگی‌های حسی، افزایش ماندگاری غذا به دلیل ظرفیت اتصال به آب، توانایی ژل سازی، تقلید چربی و افزایش غلظت محصولات غذایی کمک می‌کند (Murtaza *et al*., 2022; Yangilar, 2013). Dos Santos و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تولید سوسیس تخمیری با چربی کاهش یافته ۲۵ ٪ با افزودن سه فیبر غذایی سلولز میکروکریستالی (MCC)، نشاسته (RS) و فیبر جو دوسر (OF) پرداختند و نتایج نشان داد فیبر غذایی اضافه شده تاثیری بر کاهش وزن، مقدار Ph و

[1] Orange Dietary Fibre

[2] Oregano Essential Oil

پذیرش حسی محصول نداشت. همچنین افزودن فیبرها باعث کاهش فعالیت آب، افزایش باکتری‌های اسید لاکتیک با افزودنMCC و اثر آنتی اکسیدانی و بهبود جویدن با افزودن OF و MCC را نشان داد و همچنین افزودن فیبر رژیمی روشی مناسب برای تولید سوسیس تخمیری با چربی کم است (Dos Santos *et al*., 2021). Perinelli و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی تولید پنیر با اینولین برای تولید محصولی پری‌بیوتیک و مغذی پرداختند و عنوان کردند افزودن اینولین هیچ تاثیری بر pH و رنگ محصول نداشت و فقط اثر نرم کنندگی جزئی که منجر به قوام و مقاومت مکانیکی کمتر شد را شاهد بودند (Dos Santos *et al*., 2021). در پژوهشی Wu و همکارن (۲۰۲۳) به بررسی افزودن سبوس برنج قبل و بعد تخمیر پرداختند و مشاهده کردند افزودن سبوس قبل از تخمیر سینرزیس ماست را ۲ و ۳ ٪ کاهش داد در حالی که افزودن آن بعد تخمیر باعث افزایش سینرزیس شد. همچنین ژل ماست با افزودن سبوس قبل از تخمیر فشرده‌تر و متخلخل‌تر از ماست با سبوس برنج اضافه شده پس از تخمیر بود (Wu *et al*., 2023). Murtaza و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تولید پنیر چدارکم چرب با افزودن اینولین و نشاسته مقاوم به عنوان جایگزین چربی و حجیم کننده پرداختند و عنوان کردند افزودن اینولین و نشاسته به مقدار ۰/۵ و۱٪ باعث بهبود کیفیت و خواص رئولوژیکی محصول می‌گردد (Murtaza *et al*., 2022). به طور کلی در صنایع غذایی برای بهبود رفتار رئولوژیکی، ویژگی‌های حسی، بافت، عطر و طعم، قوام، کاهش نیتریت در سوسیس، افزایش ویسکوزیته، پایداری، حفظ تازگی، جلوگیری از کاهش رطوبت و افزایش ماندگاری از فیبر استفاده می‌شود.

نتیجه‌گیری

امروزه با توجه به تمایل مصرف کنندگان به استفاده از غذاهای عملگرا، به عنوان عوامل سلامت بخش و کمک کننده به درمان و بهبود بیماری‌ها، فیبرها مورد توجه قرار گرفته‌اند. فیبرها دارای فواید سلامت بخش مختلفی در بدن بوده و با بهبود عملکرد در دستگاه گوارش و به عنوان ماده پری‌بیوتیک با کمک به فعالیت باکتری‌ها مفید می‌تواند در کاهش و درمان بیماری‌های مختلف مانند دیابت و سرطان‌هایی مانند کولون، دهان و حنجره موثر باشند. از آنجایی که فیبرها مواد غیر قابل هضم در روده کوچک می‌باشند با تخمیر در روده بزرگ و تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر مانند پروپیونات و همچنین افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها در بهبود سرطان بسیار موثر می‌باشند. امروزه با توجه به توانایی فیبر در بهبود طعم، بافت، خواص حسی، رئولوژیکی و ایجاد قوام استفاده از آن‌ها در تولید محصولات با کیفیت در صنایع غذایی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. از جمله می‌توان از فیبرها برای کاهش نیتریت سوسیس و جلوگیری از کاهش رطوبت و افزایش ماندگاری محصولات غذایی استفاده نمود. همچنین استفاده از فیبر به عنوان جایگزین چربی باعث تولید مواد غذایی با چربی کمتر و سالمتر می‌گردد. از طرفی مشکلات زیست محیطی و کاهش ضایعات مواد غذایی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از آنجایی که فیبرها از جمله عمده ضایعات مواد غذایی بوده که دارای ترکیبات زیست فعال و مواد مغذی می‌باشند می‌توان با مدیریت درست از هدررفت آن‌ها جلوگیری نمود. این امر از لحاظ اقتصادی نیز دارای مزیت بسیاری می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده استفاده از فیبرها دارای فوائد بسیار می‌باشد که لزوم توجه به استفاده بیشتر از آن‌ها را در فرمولاسیون مواد غذایی در آینده به خوبی مشخص می‌گرداند.

منابع

Abdi, R. & Joye, I.J. (2021). Prebiotic potential of cereal components. *Foods*, *10*(10), 2338. https://doi.org/10.3390/foods10102338

Ambuja, S. R. & Rajakumar, S. N. (2018). Review on "dietary fiber incorporated dairy foods: a healthy trend". Int J Eng Res Appl, 8, 34-40.

Anderson, J.W., Baird, P., Davis Jr, R.H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V. & Williams, C.L. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutrition reviews*, *67*(4), 188-205. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x

Barber, T.M., Kabisch, S., Pfeiffer, A.F. & Weickert, M.O. (2020). The health benefits of dietary fibre. *Nutrients*, *12*(10), 3209. https://doi.org/10.3390/nu12103209

Carlson, J.L., Erickson, J.M., Hess, J.M., Gould, T.J. & Slavin, J.L. (2017). Prebiotic dietary fiber and gut health: comparing the in

Gamonpilas, C., Buathongjan, C., Kirdsawasd, T., Rattanaprasert, M., Klomtun, M., Phonsatta, N. & Methacanon, P. (2021). Pomelo pectin and fiber: Some perspectives and applications in food industry. *Food Hydrocolloids*, *120*, 106981. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106981

Gao, Y., Guo, M., Wang, D., Zhao, D. & Wang, M. (2023). Advances in extraction, purification, structural characteristics and biological activities of hemicelluloses: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *225*, 467-483. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.099

Hadri, Z. (2020). Unravelling the effect of viscous fiber on food intake: A review of studies. *South Asian Journal of Experimental Biology*, *10*(5).

He, Y., Wang, B., Wen, L., Wang, F., Yu, H., Chen, D., Su, X. & Zhang, C. (2022). Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness*, *11*(1), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.07.001

He, Y., Wang, B., Wen, L., Wang, F., Yu, H., Chen, D., Su, X. & Zhang, C. (2022). Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness*, *11*(1), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.07.001

Hervik, A.K. & Svihus, B. (2019). The role of fiber in energy balance. *Journal of nutrition and metabolism*. https://doi.org/10.1155/2019/4983657

Hosseiny, M. & Sedaghati, M. (2023). Production and Characterization of Milk Dessert Supplemented with Date Seed Powder. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 42(9), 2908-2915. https://doi.org/10.30492/ijcce.2023.560928.5551

Hussain, S., Jõudu, I. & Bhat, R. (2020). Dietary fiber from underutilized plant resources—A positive approach for valorization of fruit and vegetable wastes. *Sustainability*, *12*(13), 5401. https://doi.org/10.3390/su12135401

Iqbal, S., Tirpanalan-Staben, Ö. & Franke, K. (2022). Modification of Dietary Fibers to Valorize the By-Products of Cereal, Fruit and Vegetable Industry—A Review on Treatment Methods. *Plants*, *11*(24), 3466. https://doi.org/10.3390/plants11243466

Jakobsdottir, G., Nyman, M. & Fåk, F. (2014). Designing future prebiotic fiber to target metabolic syndrome. *Nutrition*, *30*(5),

vitro fermentations of beta-glucan, inulin and xylooligosaccharide. *Nutrients*, *9*(12), 1361. https://doi.org/10.3390/nu9121361

Chawla, R.P.G.R. & Patil, G.R. (2010). Soluble dietary fiber. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, *9*(2), 178-196. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00099.x

Chio, C., Sain, M. & Qin, W. (2019). Lignin utilization: A review of lignin depolymerization from various aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *107*, 232-249. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.008

Dai, F.J. & Chau, C.F. (2017). Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *Journal of food and drug analysis*, *25*(1), 37-42. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.09.006

Dakia, P.A. (2011). Carob (Ceratonia siliqua L.) seeds, endosperm and germ composition, and application to health. In *Nuts and seeds in health and disease prevention* (pp. 293-299). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10035-0

Dos Santos, J.M., Ignácio, E.O., Bis-Souza, C.V. & da Silva-Barretto, A.C. (2021). Performance of reduced fat-reduced salt fermented sausage with added microcrystalline cellulose, resistant starch and oat fiber using the simplex design. *Meat Science*, *175*, 108433. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108433

Fischer, F., Romero, R., Hellhund, A., Linne, U., Bertrams, W., Pinkenburg, O., Eldin, H.S., Binder, K., Jacob, R., Walker, A. & Stecher, B. (2020). Dietary cellulose induces anti-inflammatory immunity and transcriptional programs via maturation of the intestinal microbiota. *Gut Microbes*, *12*(1), 1829962. https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1829962

Freitas, C.M.P., Coimbra, J.S.R., Souza, V.G.L. & Sousa, R.C.S. (2021). Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review. *Coatings*, *11*(8), 922. https://doi.org/10.3390/coatings11080922

Gan, J., Xie, L., Peng, G., Xie, J., Chen, Y. & Yu, Q. (2021). Systematic review on modification methods of dietary fiber. *Food Hydrocolloids*, *119*, 106872. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106872

497-502. https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.08.013

Joye, I.J. (2020). Dietary fibre from whole grains and their benefits on metabolic health. *Nutrients*, *12*(10), 3045. https://doi.org/10.3390/nu12103045

Lattimer, J.M. & Haub, M.D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*, *2*(12), 1266-1289. https://doi.org/10.3390/nu2121266

Lavanya, D.K.P.K., Kulkarni, P.K., Dixit, M., Raavi, P.K. & Krishna, L.N.V. (2011). Sources of cellulose and their applications—A review. *International Journal of Drug Formulation and Research*, *2*(6), 19-38.

Illippangama, A.U., Jayasena, D.D., Jo, C. & Mudannayake, D.C. (2022). Inulin as a functional ingredient and their applications in meat products. *Carbohydrate Polymers*, *275*, 118706. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118706

Li, S., Hu, N., Zhu, J., Zheng, M., Liu, H. & Liu, J. (2022). Influence of modification methods on physicochemical and structural properties of soluble dietary fiber from corn bran. *Food Chemistry: X*, *14*, 100298. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100298

Lin, D., Long, X., Huang, Y., Yang, Y., Wu, Z., Chen, H., Zhang, Q., Wu, D., Qin, W. & Tu, Z. (2020). Effects of microbial fermentation and microwave treatment on the composition, structural characteristics, and functional properties of modified okara dietary fiber. *Lwt*, *123*, 109059. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109059

Li, D.Q., Li, J., Dong, H.L., Li, X., Zhang, J.Q., Ramaswamy, S. & Xu, F. (2021). Pectin in biomedical and drug delivery applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *185*, 49-65. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.088

Li, L. (2019). Study on the Application of Dietary Fiber on Special Medicine. *Int. J. New Dev. Eng. Soc*, *3*, 19014.

Liang, L.I. & Luo, Y. (2020). Casein and pectin: Structures, interactions, and applications. *Trends in Food Science & Technology*, *97*, 391-403. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.027

Lyu, F., Luiz, S.F., Azeredo, D.R.P., Cruz, A.G., Ajlouni, S. & Ranadheera, C.S. (2020). Apple pomace as a functional and healthy ingredient in food products: A review. *Processes*, *8*(3), 319. https://doi.org/10.3390/pr8030319

Ma, C., Ni, L., Guo, Z., Zeng, H., Wu, M., Zhang, M. & Zheng, B. (2022). Principle and Application of Steam Explosion Technology in Modification of Food Fiber. *Foods*, *11*(21), 3370. https://doi.org/10.3390/foods11213370

Makki, K., Deehan, E.C., Walter, J. & Bäckhed, F. (2018). The impact of dietary fiber on gut microbiota in host health and disease. *Cell host & microbe*, *23*(6), 705-715. https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012

Maphosa, Y. & Jideani, V.A. (2016). Dietary fiber extraction for human nutrition—A review. *Food Reviews International*, *32*(1), 98-115. https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1057840

McRorie Jr, J.W. & McKeown, N.M. (2017). Understanding the physics of functional fibers in the gastrointestinal tract: an evidence-based approach to resolving enduring misconceptions about insoluble and soluble fiber. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, *117*(2), 251-264. https://doi.org/10.1016/j.jand.2016.09.021

Mu, R., Hong, X., Ni, Y., Li, Y., Pang, J., Wang, Q., Xiao, J. & Zheng, Y. (2019). Recent trends and applications of cellulose nanocrystals in food industry. *Trends in Food Science & Technology*, *93*, 136-144. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.013

Mudgil, D. (2017). The interaction between insoluble and soluble fiber. In *Dietary fiber for the prevention of cardiovascular disease* (pp. 35-59). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805130-6.00003-3

Murtaza, M.S., Sameen, A., Rafique, S., Shahbaz, M., Gulzar, N., Murtaza, M.A., Farooq, U. & Hafiz, I. (2022). Impact of dietary fiber (inulin and resistant starch) on the quality parameters of low fat cheddar cheese from buffalo milk. *Current Research in Nutrition and Food Science*, *55*(2). https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20200630120620

Nagy, R., Máthé, E., Csapó, J. & Sipos, P. (2020). Modifying effects of physical processes on starch and dietary fiber content of foodstuffs. *Processes*, *9*(1), 17. https://doi.org/10.3390/pr9010017

Nsor-Atindana, J., Chen, M., Goff, H.D., Zhong, F., Sharif, H.R. & Li, Y. (2017). Functionality and nutritional aspects of microcrystalline cellulose in food.

Carbohydrate polymers, *172*, 159-174. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.021

Ötles, S. & Ozgoz, S. (2014). Health effects of dietary fiber. *Acta scientiarum polonorum Technologia alimentaria*, *13*(2), 191-202. doi.org/10.17306/J.AFS.2014.2.8

Perinelli, D.R., Santanatoglia, A., Caprioli, G., Bonacucina, G., Vittori, S., Maggi, F. & Sagratini, G. (2023). Inulin Functionalized "Giuncata" Cheese as a Source of Prebiotic Fibers. *Foods*, *12*(18), 3499. https://doi.org/10.3390/foods12183499

Pop, C., Suharoschi, R. & Pop, O.L. (2021). Dietary fiber and prebiotic compounds in fruits and vegetables food waste. *Sustainability*, *13*(13), 7219. https://doi.org/10.3390/su13137219

Rezende, E.S.V., Lima, G.C. & Naves, M.M.V. (2021). Dietary fibers as beneficial microbiota modulators: A proposed classification by prebiotic categories. *Nutrition*, *89*, 111217. https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111217

Slavin, J.L. (2005). Dietary fiber and body weight. *Nutrition*, *21*(3), 411-418. https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.08.018

Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, *5*(4), 1417-1435. https://doi.org/10.3390/nu5041417

Snauwaert, E., Paglialonga, F., Vande Walle, J., Wan, M., Desloovere, A., Polderman, N., Renken-Terhaerdt, J., Shaw, V. & Shroff, R. (2023). The benefits of dietary fiber: the gastrointestinal tract and beyond. *Pediatric Nephrology*, *38*(9), 2929-2938. https://doi.org/10.1007/s00467-022-05837-2

Soliman, G.A. (2019). Dietary fiber, atherosclerosis, and cardiovascular disease. *Nutrients*, *11*(5), 1155. https://doi.org/10.3390/nu11051155

Swann, O.G., Kilpatrick, M., Breslin, M. and Oddy, W.H. (2020). Dietary fiber and its associations with depression and inflammation. *Nutrition Reviews*, *78*(5), 394-411. https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz072

Teferra, T.F. (2021). Possible actions of inulin as prebiotic polysaccharide: A review. *Food Frontiers*, *2*(4), 407-416. https://doi.org/10.1002/fft2.92

Theuwissen, E. & Mensink, R.P. (2008). Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. *Physiology & behavior*, *94*(2), 285-292. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.01.001

Torres, L.A.Z., Woiciechowski, A.L., de Andrade Tanobe, V.O., Karp, S.G., Lorenci, L.C.G., Faulds, C. & Soccol, C.R. (2020). Lignin as a potential source of high-added value compounds: A review. *Journal of Cleaner Production*, *263*, 121499. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121499

Visuthranukul, C., Kwanbunbumpen, T., Chongpison, Y., Chamni, S., Panichsillaphakit, E., Uaariyapanichkul, J., Maholarnkij, S. & Chomtho, S. (2022). The impact of dietary fiber as a prebiotic on inflammation in children with obesity. *Foods*, *11*(18), 2856. https://doi.org/10.3390/foods11182856

Wan, X., Guo, H., Liang, Y., Zhou, C., Liu, Z., Li, K., Niu, F., Zhai, X. & Wang, L. (2020). The physiological functions and pharmaceutical applications of inulin: A review. *Carbohydrate polymers*, *246*, 116589. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116589

Wu, T., Deng, C., Luo, S., Liu, C. & Hu, X. (2023). Effect of rice bran on properties of yogurt: Comparison between addition of bran before fermentation and after fermentation. *Food Hydrocolloids*, *135*, 108122. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108122

Yangilar, F. (2013). The application of dietary fibre in food industry: structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: a review. *Journal of food and nutrition research*, *1*(3), 13-23.

Zhang, H., Wang, H., Cao, X. & Wang, J. (2018). Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review. *Food Research International*, *113*, 24-35. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.068

Zhu, B.J., Zayed, M.Z., Zhu, H.X., Zhao, J. & Li, S.P. (2019). Functional polysaccharides of carob fruit: a review. Chinese medicine, 14(1), 40.

Zinina, O., Merenkova, S., Tazeddinova, D., Rebezov, M., Stuart, M., Okuskhanova, E., Yessimbekov, Z. & Baryshnikova, N. (2019). Enrichment of meat products with dietary fibers: a review. https://doi.org/10.15159/ar.19.163

An Overview of the Place of Fiber in Nutrition, Health, its Application and Methods of Modification in the Food Industry

M. Hosseiny [a*], P. Rajaei [b]

[a] PhD Student of the Department of Food Science and Industry, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[b] Assistant Professor of the Department of Food Science and Industry, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 16 November 2023 Accepted: 10 June 2024

Abstract

Introduction: Nowadays, the health effects of dietary fiber are very much considered. Dietary fiber is found in foods such as fruits, vegetables, and grains and is low in calories and fat.

Materials and Methods: In this review article, the types of fiber, their therapeutic properties, and their modification methods have been investigated.

Results: Fiber is a carbohydrate that cannot be broken down in the body and is not digested by enzymes in the digestive system. Fibers include cellulose, hemicellulose, gum, pectic substances, and lignin, which due to their glucose absorption capacity, cholesterol absorption capacity, oil storage capacity, and very low calories are used to reduce and treat diseases such as obesity, diabetes, various cancers, intestinal diseases, and cardiovascular diseases. They're effective. Many food industry wastes such as fruit pomace, date kernels and cereal bran are important sources of dietary fiber that can be used as prebiotics for the growth and proliferation of beneficial intestinal bacteria. Based on physical properties, fibers are divided into two categories, soluble and insoluble in water. Insoluble fibers are not used due to their unpleasant taste and poor performance, which are converted into soluble fiber by methods such as physical, chemical, enzymatic and combined modification. Due to low cost, short time, simple operation and no production of toxic waste, the physical method is the most widely used.

Conclusion: Due to the ability of fiber to improve taste, texture, sensory, rheological properties and create consistency, their use in the production of food products has received a lot of attention.

***Keywords*:** *Cancer Reduction, Carbohydrate, Diabetes, Dietary Fiber, Prebiotic.*

* Corresponding Author: morva1989@gmail.com