

روش‌های مورد استفاده در تولید غذاهای بدون شکر یا کم شکر جهت مدیریت تغذیه‌ای بیماران دیابتی

محمد نجاتیان^۱، سیده رقیه دروگر^۲، نازنین داراب زاده^{۳*}

- ۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه
 ۲- گروه تغذیه و ایمنی مواد غذایی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه ا... (عج)، تهران، ایران
 ۳- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
 (تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۱۹)

چکیده

بیماری دیابت یک بیماری مزمن ارثی یا اکتسابی و از شایع‌ترین اختلالات متابولیکی است که با اختلال در ترشح انسولین یا کاهش پاسخ‌دهی سلول‌ها نسبت به انسولین ترشح شده ایجاد می‌شود. شیوع دیابت در کشورهای در حال توسعه بالا بوده و چهارمین علت اصلی مرگ و علت عمده‌ی کوری و آسیب‌های بینایی در بزرگسالان می‌باشد. از آنجا که هدف اصلی از درمان دیابت، کنترل قند خون در محدوده‌ی طبیعی و فراهم ساختن شرایط مناسب فعالیت انسولین جهت کاهش پیشرفت عوارض عروقی و عصبی می‌باشد، درمان تغذیه‌ای، رژیم غذایی و کنترل وزن، اساس درمان دیابت را تشکیل می‌دهند. از طرف دیگر نبودن جایگزین‌های مناسب غذایی برای این گروه از بیماران ضرورت تحقیق در مورد توسعه فرمولاسیون محصولات که به منظور استفاده افراد دیابتی طراحی می‌گردند را مشخص می‌کند. بر این اساس، در این مقاله مروری به مهمترین راهکارهای کاهش شکر در مواد غذایی اشاره خواهد شد. این راهکارها عبارتند از استفاده از ممانعت کننده‌های آنزیمی، جایگزین‌های طبیعی و مصنوعی شکر در فرمولاسیون‌ها، بهبود دهنده‌ها، غذا داروها، کربوهیدرات‌های با قابلیت هضم پایین، اعمال سیاست کاهش تدریجی و تغییر پروفایل رهایش شکر.

کلید واژگان: دیابت، فرمولاسیون غذایی، شیرین کننده‌ها، غذا داروها، مهارکننده‌های آمیلاز

* مسئول مکاتبات: Darabzadehnazanin@yahoo.com

۱- مقدمه

بیماری دیابت یک بیماری مزمن است که در اثر نقص ارثی و یا اکتسابی در ترشح انسولین و یا کاهش پاسخ‌دهی اندام‌ها نسبت به انسولین ترشح‌شده ایجاد می‌شود. چنین نقصی منجر به تأخیر در ترشح انسولین (یا عدم ترشح) پس از صرف غذا و نهایتاً افزایش ناگهانی سطح گلوکز خون می‌شود. این وضعیتی تواند بسیاری از سیستم‌های بدن شامل عروق خونی و اعصاب را تخریب کند [۱، ۲]. شیوع دیابت از شیوع همه بیماری‌های عفونی بیشتر است و به همین علت سازمان بهداشت جهانی و سازمان ملل متحد، دیابت را به عنوان خطرناک‌ترین چالش برای جامعه بین‌المللی در قرن بیست و یکم اعلام کرده‌اند [۳]. امروزه در کشورهای در حال توسعه، بیماری دیابت چهارمین عامل اصلی مرگ و علت عمده‌ی کوری و آسیب‌های بینایی در بزرگسالان می‌باشد. این بیماری یکی از شایع‌ترین اختلالات متابولیسمی است که تقریباً ۶ درصد جمعیت جهان را گرفتار کرده است [۴]. در سال ۲۰۰۳ شیوع جهانی دیابت در بین افراد ۲۰ تا ۷۹ ساله ۵/۱ درصد بوده است و تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ به ۶/۳ درصد برسد [۵]. مطالعات دیگر بیان کرده‌اند که در حال حاضر حدود ۱۵۰ میلیون نفر در سراسر جهان مبتلا به بیماری دیابت هستند و پیش‌بینی می‌شود که این میزان تا سال ۲۰۲۵ به ۳۰۰ میلیون نفر برسد [۶]. بعضی از علل این روند افزایشنده شامل رشد جمعیت، سالمندی جوامع، گسترش شهرنشینی، شیوع چاقی و کاهش فعالیت بدنی می‌باشند [۵]. ۳ نوع دیابت وجود دارد: دیابت نوع ۱ (وابسته به انسولین) که مشخصه بارز آن تخریب سلول‌های بتای لوزالمعده است و توسط عوامل ژنتیکی، ایمونولوژیکی و محیطی (مثل ویروس‌ها) ایجاد می‌شود، دیابت نوع ۲ (غیروابسته به انسولین) که در این نوع دیابت معمولاً بیمار چاق است و علل اینچاقی، وراثت یا عوامل محیطی می‌باشد و دیابت بارداری که در طی ۳ ماهه‌ی دوم یا سوم بارداری رخ می‌دهد. مراحل اولیه‌ی بیماری ممکن است هیچ علامتی نداشته باشد؛ لیکن علائم اولیه‌ی بیماری

شامل تشنگی مفرط، گرسنگی مفرط، ادرار زیاد و مکرر، زخم یا خونریزی (که دیر بهبود می‌یابد)، پوست خشک همراه با خارش، کاهش وزن بدون دلیل، تاریدید، خواب‌آلودگی و خستگی غیرمعمول، خواب رفتن و سوزن سوزن شدن دست و پا، عفونت مکرر قارچی در پوست، لثه‌ها و در دستگاه تناسلی زنانه می‌باشد [۷]. عوارض دیابت عبارت است از هیپوگلیسمی (کاهش قند خون به ۷۰ میلی‌گرم در دسی‌لیتر و کمتر)، کتواسیدوز دیابتی^۲ (که در اثر فقدان یا کمبود شدید انسولین ایجاد می‌شود و موجب ایجاد اختلال در متابولیسم کربوهیدرات، پروتئین و چربی می‌گردد)، رتینوپاتی^۳ (آسیب به شبکیه چشم که موجب کاهش بینایی و حتی کوری می‌شود)، نوروپاتی^۴ (اختلالات عصبی)، نفروپاتی^۵ (درگیری کلیوی که منجر به دیالیز و گاهی لزوم پیوند کلیه می‌شود)، افزایش فشار خون و بیماری‌های قلبی عروقی و اختلال در چربی‌های خون که منجر به سکتته و انسداد عروق به خصوص در پاها می‌شود [۷]. بهترین راه‌های درمان دیابت کاهش وزن، ورزش کردن، تغذیه و رژیم درمانی و نیز مصرف داروهای خوراکی می‌باشد. بسیاری از بیماران در کوتاه‌مدت و بلندمدت جهت پیشگیری از هیپرگلیسمی نیاز به انسولین دارند. هدف اصلی از درمان دیابت، کنترل قند خون و طبیعی ساختن فعالیت انسولین جهت کاهش پیشرفت عوارض عروقی و عصبی می‌باشد [۷].

۲- اهمیت و نقش تولید مواد غذایی ویژه

در دیابت

افرادی که دچار عدم تحمل گلوکز می‌باشند، برای کنترل سطح گلوکز خون خود و افراد سالم برای پیشگیری از بروز اختلالات متابولیکی مانند چاقی و پیامدهای آن به مصرف مواد غذایی کم‌کالری تشویق می‌شوند [۴]. درمان تغذیه‌ای، رژیم غذایی و کنترل وزن، اساس درمان دیابت را تشکیل می‌دهند. مهم‌ترین

2. Diabetic ketoacidosis

3. Retinopathy

4. Neuropathy

5. Nephropathy

1. Hyperglycemic spike

۳-۱- مهار فعالیت آلفا آمیلاز و آلفا گلوکوزیداز در

فرمولاسیون غذای دیابتی

یکی از روش‌های مورد توجه برای تولید غذاهای دیابتی، کاربرد محصولاتی است که در آن‌ها از فعالیت آنزیم‌هایی که در هضم نشاسته نقش دارند، جلوگیری می‌شود و در نتیجه هضم نشاسته کاهش می‌یابد [۸]. کاهش هضم نشاسته‌ی مواد غذایی و تأخیر در آزادسازی گلوکز، یک راه مؤثر و کم‌هزینه در پیشگیری و درمان دیابت است. دست‌یابی به این امر از طریق مهار فعالیت آنزیم‌های هضم‌کننده‌ی نشاسته (آلفا آمیلاز و آلفا گلوکوزیداز) به دست می‌آید. به عبارت دیگر در این محصولات مهارکننده‌های آنزیم‌های آلفا آمیلاز و آلفا گلوکوزیداز وجود دارند. ترکیبات فنولیک نیز مهارکننده محسوب می‌شوند. آن‌ها به دلیل داشتن ساختار حلقوی و تعداد زیاد گروه‌های هیدروکسیل، به جایگاه فعال آنزیم متصل شده و آن را مهار می‌کنند [۱۱ و ۱۲].

هضم کربوهیدرات‌ها به وسیله آلفا آمیلاز در دهان آغاز می‌شود و با استفاده از بزاق حدود ۶ درصد از کربوهیدرات‌ها تجزیه می‌شوند. سپس در روده‌ی کوچک بوسیله‌ی آلفا آمیلاز مترشح از پانکراس هضم کامل‌تر شده و محصول تولیدی از این مرحله الیگوساکاریدها هستند. در مرحله بعد عمل هضم کامل شده و تولید منوساکاریدها با اثر آنزیم‌هایی مانند مالتاز، ساکاراز و لاکتاز انجام می‌شود. بر این اساس دو اصطلاح وجود دارد: کربوهیدرات‌های با شاخص گلیسمیک بالا که ساده بوده و به سرعت به منوساکارید تجزیه شده و جذب می‌شوند و کربوهیدرات‌های با شاخص گلیسمیک پایین که ساختار پیچیده داشته و جذب آن‌ها به آهستگی انجام می‌گیرد [۱۱].

یکی از راه‌های کاهش هیپرگلیسمی پس از صرف غذا، به تأخیر انداختن و یا جلوگیری از جذب کربوهیدرات‌ها بعد از غذا خوردن می‌باشد [۲۵]. جهت جذب پلی‌ساکاریدهای پیچیده توسط روده و انتقال به جریان خون، آنزیم‌های هضم‌کننده‌ی روده مانند آلفا آمیلاز و آلفا گلوکوزیداز آنها را به واحدهای کوچک‌تر تقسیم می‌کنند [۲۶]، بنابراین از مهارکننده‌های آلفا گلوکوزیداز به طور

هدف رژیم غذایی در درمان دیابت کنترل مجموع کالری دریافتی، جهت دستیابی یا نگهداری وزن مطلوب و کنترل سطح قند خون است [۷].

فناوری تولید مواد غذایی نقش مهم و بسزایی در تحقق یافتن نیازهای تغذیه‌ای مصرف‌کنندگان ایفا می‌کند [۸]. با توجه به شیوع بیماری دیابت، روند رو به افزایش آن، اهمیت کنترل قند خون و پیشگیری از بروز عوارض وخیم در این بیماران، تولید خوراکی‌هایی با شاخص گلیسمی پایین ضروری است اما نیازی به استفاده از رژیم‌های سخت غذایی نمی‌باشد [۹]. هر چند، با افزایش رو به رشد تعداد بیماران دیابتی و نبودن جایگزین‌های مناسب غذایی برای آن‌ها و محرومیتشان در استفاده از انواع کیک، شیرینی، مربا و غیره، انجام تحقیقات گسترده در مورد توسعه محصولات که مخصوص افراد دیابتی طراحی می‌گردند، ضرورت می‌یابد [۱۰].

۳-۲- انواع روش‌های مورد استفاده در تولید

غذاهای دیابتی

روش‌های مختلف مورد استفاده در تولید انواع غذاهای دیابتی عبارتند از: کاربرد مهارکننده‌های آلفا آمیلاز و آلفا گلوکوزیداز که خود شامل ممانعت‌کننده‌های تجاری (آکاربوز، گزیلوز) [۱۱] و ممانعت‌کننده‌های طبیعی ترکیبات فنولی (پوست سبز پسته، انار، پوست انگور، سبوس و جوانه گندم، برگ گوا) [۱۱، ۱۲] می‌باشد، کاربرد غذا داروها (مانند استفاده از سین‌بیوتیک‌ها و کورکومین) [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶]، استفاده از جایگزین‌های طبیعی شکر (مانند شیر خرم، شیر انگورو ایزومالت) [۹، ۱۷-۱۹]، به کار بردن جایگزین‌های مصنوعی شکر (مانند سوکرالوز با نام تجاری اسپلندا، آسپارتام، ساخارین و آسه‌سولفام پتاسیم)، استفاده از شیرین کننده‌های طبیعی بدون کالری (استویا و قندهای الکلی) و کاربرد کربوهیدرات با قابلیت هضم پایین در فرمولاسیون مواد غذایی [۲۰-۲۴].

مهارکنندگی بالای ۶۰ درصد را بر روی آلفاگلوکوزیداز نشان داده‌اند [۲۸]. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی روی گیاهان دارویی بومی ایران نیز انجام شده است. به عنوان مثال، رحیم‌زاده و همکاران فعالیت ممانعت کنندگی آلفا-آمیلاز توسط عصاره گیاهان گزنه^۱ و برگ گردو^۲ را بررسی کردند. هر دو عصاره گیاهی (از نوع آبی) ۶۰٪ ممانعت کنندگی آلفا-آمیلازی را در غلظت به ترتیب ۲ mg/ml گزنه و ۴ mg/ml گردو نشان دادند. آن‌ها نوع ممانعت کنندگی این دو عصاره را رقابتی گزارش کردند [۳۱]. لازم به ذکر است که ترکیبات ضد دیابت‌اکثر این گیاهان دارویی عموماً ماهیت پلی فنولی و گلیکوزیدی دارند.

ترکیبات فنولی متابولیت‌های ثانویه در گیاهان بوده که دارای اثرات سلامت بخش نیز هستند [۱۱]. ترکیبات فنولیک مهم‌ترین ترکیبات طبیعی هستند که می‌توانند آنزیم‌های هضم‌کننده نشاسته یعنی آلفاآمیلاز و آلفاگلوکوزیداز را مهار کنند [۱۲]. با توجه به تأثیر ضد اکسایشی و ضد دیابتی این ترکیبات، تمایل روزافزونی در جهت استفاده از این ترکیبات سلامت‌بخش به جای ترکیبات سنتزی که در صنعت به طور معمول استفاده می‌شود، وجود دارد [۱۱، ۱۲]. این بازدارندگی آنزیمی می‌تواند راهی مؤثر، آسان و کم هزینه در پیشگیری و بهبود بیماری دیابت نوع دو باشد [۱۲].

پوست سبز پسته یکی از منابع غنی از ترکیبات فنولی می‌باشد [۱۱]. پوست سبز پسته علاوه بر دارا بودن مقادیر بالای پلی فنول و خاصیت ضد اکسایشی قوی از پتانسیل مهارکنندگی خوبی نسبت به فعالیت آنزیم‌های هضم کننده کربوهیدرات‌ها (آلفاآمیلاز و آلفاگلوکوزیداز) برخوردار است. در ماکارونی‌های تیمار شده با عصاره آبی پوست پسته به طور معنی داری درصد آبکافت نشاسته و شاخص گلیسمیک نسبت به نمونه کنترل کاهش می‌یابد. همچنین در ماکارونی‌های تیمار شده با عصاره آبی پوست پسته، تغییرات معنی‌داری در خواص فیزیکی و ارگانولپتیک ماکارونی ایجاد نمی‌گردد [۱۱].

گسترده‌ای همراه با تزریق انسولین و یا به تنهایی به عنوان دارو برای درمان بیماری دیابت استفاده می‌شود [۲۷].

در هنگام هضم غذا، کربوهیدرات‌ها از طریق آنزیم‌های مختلف به گلوکز و سایر منوساکاریدها تجزیه می‌شوند. در این میان آنزیم آلفاگلوکوزیداز، در آخرین مرحله‌ی هیدرولیز کربوهیدرات‌ها، پیوند گلیکوزیدی را در الیگوساکاریدها می‌شکند [۱۶]. از آنجایی که گلوکز، جزء اصلی قند خون است، بنابراین آلفاگلوکوزیداز به عنوان یک راه‌کار ایده‌آل برای درمان دیابت می‌باشد. گیاهان منابعی غنی از ترکیبات فعال زیستی هستند، امروزه تحقیقات بسیاری بر روی عصاره‌های گیاهی با هدف یافتن مهارکننده‌های جدیدی برای این آنزیم در حال انجام می‌باشد [۲۸، ۲۹].

در اثر هیدرولیز سوبسترای پارانیتروفنول آلفاگلوکوپیرانوزید توسط آنزیم آلفاگلوکوزیداز، ماده‌ی رنگی پارانیتروفنول تولید می‌شود که زرد رنگ است و دارای جذب حداکثری در طول موج ۴۰۵ نانومتر است. هرچه فعالیت آنزیم آلفاگلوکوزیداز بیشتر باشد، شدت رنگ تولیدی بیشتر و به دنبال آن جذب نوری نیز بیشتر خواهد بود. حضور عصاره گیاهی به علت کاهش فعالیت آنزیم آلفاگلوکوزیداز باعث می‌شود که مقدار کمتری سوبسترا تجزیه شده و در نتیجه ماده رنگی کمتری تولید شود، که منجر به کاهش جذب نوری می‌شود [۲۸].

در گذشته از مهارکننده‌ی متداول آنزیم آلفاگلوکوزیداز مانند آکاربوزو گزیلوز برای درمان دیابت استفاده می‌شد (۵۱). از آنجایی که مهارکننده‌های تجاری، دارای عوارض جانبی مانند نفخ، دردهای شکمی، اختلالات کبدی و استفراغ هستند، امروزه تحقیقات بسیاری جهت یافتن فعالیت مهارکنندگی در عصاره‌های طبیعی مانند عصاره استخراج شده از پوست انگور، سیب و جوانه‌ی گندم و برگ گوا جهت به حداقل رساندن اثرات جانبی در حال انجام است [۱۱، ۳۰].

بر اساس نتایج به دست آمده، از میان شصت گیاه مورد مطالعه، عصاره‌های گیاهان *دسکورانیاسوفیا* (گیاه خاکشیر)، *فوماریا/ایلاتنی*، *فرولاسانجیتی*، *هاپلفیلوم* *آکوتیفیلوم*، *ایساتیسکا پادوسیا*، *ارومستاجیسلوگاتا*، *سایلناچریانا*، اثر

1. *Urticadioica*
2. *Juglansregia*Linn

پوست انار دارای خواص متعددی است که عبارتند از: بهبود ترمیم زخم، افزایش ایمنی بدن، فعالیت ضد میکروبی و ضد ویروسی، ضد التهاب و آترواسکلرونیك، ضد اکساینده، ضد سرطان، ضد جهش، ضد تومور، جلوگیری از تجمع پلاکت‌های خون، آلزایمر، دیابت و بیماری‌های قلبی. همچنین پوست انار یکی از منابع غنی از ترکیبات فنولی می‌باشد. پوست انار علاوه بر دارا بودن مقادیر بالای پلی فنول و خاصیت ضد اکسایشی قوی از پتانسیل مهارکنندگی خوبی نسبت به فعالیت آنزیم‌های هضم‌کننده کربوهیدرات‌ها (آلفا-آمیلاز و آلفا-گلوکوزیداز) برخوردار است. در کیک‌های تیمار شده با عصاره آبی پوست انار، به‌طور معنی‌داری درصد آبکافت ناشسته و شاخص گلیسمیک ($43/4\%$) نسبت به کنترل کاهش می‌یابد. همچنین در کیک‌های تیمار شده با عصاره آبی پوست انار، تغییرات معنی‌داری در خواص فیزیکی و بافتی کیک ایجاد نگردید [۱۲].

از منابع دیگر پلی فنول‌های غذایی می‌توان به میوه سیب اشاره کرد. اخیراً در مطالعه‌ای، پلی فنول‌های سیب‌های نرسیده اثر ممانعت‌کنندگی قابل توجهی را روی آلفا-آمیلاز پانکراسی با مقدار IC_{50} حدود 0.23 mg/ml نشان دادند [۳۲]. همچنین گُنزالز و همکاران با تعیین مشخصات پلی فنول‌های روغن زیتون فوق بکر، کارایی آن‌ها را در ممانعت کردن از فعالیت آلفا-آمیلاز و آلفا-گلیکوزیداز بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که ال‌توروپین و مشتقات لیگستروسید^۱ $83-67\%$ ترکیبات فنولی روغن زیتون را تشکیل می‌دهند. برای آلفا-گلوکوزیداز عصاره‌های فنولی روغن زیتون بکر، فعالیت ممانعت‌کنندگی قوی‌تری (مقدار IC_{50} بین $60-118 \text{ } \mu\text{g/ml}$ بسته به گونه مورد مطالعه) را نسبت به ممانعت‌کننده تجاری آکاربوز ($IC_{50} = 356 \text{ } \mu\text{g/ml}$) نشان دادند. با این وجود، برای آلفا-آمیلاز فعالیت ممانعت‌کنندگی ضعیف و تنها برای یک گونه بررسی شده، مشاهده شد ($IC_{50} = 714$) [۳۳].

برخی از پپتیدها نیز ممکن است فعالیت ضد دیابتی از خود نشان دهند. به عنوان مثال اخیراً گزارش شده است که آبکافته‌های

حاصل از ضایعات پوست میگو توسط آنزیم نوتراز در شرایط بهینه، میزان ممانعت‌کنندگی حدود 43% را نشان می‌دهند. این شرایط بهینه به صورت زیر بود: غلظت آنزیم $0.5/4\%$ (حجمی/حجمی)، نسبت مایع-جامد 13 mL/g ، زمان $4/1$ ساعت، دمای 50 درجه سانتی‌گراد و $pH 7$. آبکافته‌های حاصله عمدتاً از پپتیدهای کوچک با وزن مولکولی کمتر از 4 کیلو دالتون و مقدار بالای اسیدهای آمینه ضروری (278 mg/g) تشکیل شدند که نشان دهنده ارزش تغذیه‌ای بالای آن‌ها و قابلیت استفاده در محصولات غذایی است [۳۴]. نتایج مشابهی برای آبکافته‌های پروتئین سویا گزارش شده است [۳۵].

باید توجه داشت که مهار شدیدتر فعالیت آلفا-آمیلاز و مهار ضعیف فعالیت آلفا-گلوکوزیداز عصاره های گیاهی می‌تواند نقص اصلی داروهای کنونی مهارکننده این آنزیم‌ها باشد که با عوارض جانبی مانند اتساع شکمی، نفخ شکمی و احتمال اسهال همراه می‌باشد. پیشنهاد شده است که چنین عوارض جانبی ممکن است به وسیله مهار بیش از حد آلفا-آمیلاز پانکراسی ایجاد شود که منجر به تخمیر غیر طبیعی باکتریایی کربوهیدرات‌های هضم نشده در روده بزرگ می‌شود. بنابراین شناسایی مهارکننده‌های طبیعی با ویژگی ممانعت‌کنندگی آلفا-گلوکوزیداز شدیدتر و آلفا-آمیلاز خفیف مطلوب می‌باشد [۳۶].

۳-۲- کاربرد جایگزین‌های شکر

فرموله کردن مجدد محصولات از طریق جایگزینی کلی یا جزئی شکر راهکار مورد بررسی در بیشتر مطالعات برای تولید اغلب محصولات غذایی مانند محصولات نانوائی، شکلات، بستین و دسر، مربا و ژله می‌باشد (جدول ۱). کاهش مقدار شکر برای مصرف‌کنندگان خاص مطلوب است. مقدار و نوع شیرین‌کننده مورد استفاده به نوع محصول بستگی دارد. تا سال ۲۰۰۰ شیرین‌کننده‌های مصنوعی مانند آسپارتام و ساخارین به عنوان جایگزین‌های شکر مورد استفاده بودند اما در سال‌های اخیر استفاده از شیرین‌کننده‌های طبیعی مانند گلیکوزیدهای استویول و تاگاتوز و قندهای الکلی رواج یافته است [۳۷].

1. Ligstroside derivatives

Table 1 Sugar replacement in specific food categories (37)

Food Category	Sub-category	Alternative sweeteners
Bakery	Cookies	Sucralose, maltitol, erythritol, stevioside
	Muffins and cakes	Rebaudioside A, sorbitol, maltitol, isomalt, erythritol, xylitol, mannitol
Confectionery	Chocolate	Neotame, rebaudioside, sap-based sugar, stevia, sucralose, thaumatin
	Dessert	Aspartame, neotame, sucralose, stevia
Gel	Ice-cream	Erythritol, fructose, honey, trehalose, xylitol
	Jelly	Erythritol, sucralose
	Jam/Marmalade	Isomaltulose, stevioside, sucralose, tagatose

۳-۲-۱- جایگزین‌های طبیعی شکر

جایگزین کردن شیر خرمای در فرمولاسیون مواد غذایی علاوه بر اینکه جایگزین مناسبی برای شکر است، می‌تواند سبب بهبود خواص تغذیه‌ای مواد غذایی شود. شیر خرمای از فراورده‌های با ارزش ثانویه خرمای است و سرشار از قند طبیعی بوده و برای بیماران دیابتی کم‌ضررتر است [۱۷]. شیر خرمای سرشار از قندهای طبیعی نظیر فروکتوز و گلوکز می‌باشد. از نظر فیزیولوژیکی قند فروکتوز در بدن برای جذب به انسولین نیاز ندارد، بنابراین قند مناسبی برای بیماران دیابتی است و انرژی فراوانی دارد. شیر خرمای مقدار فراوانی پتاسیم، کلسیم و آهن دارد و برای تغذیه کودکان در سنین رشد، بانوان در زمان شیردهی و سالمندان غذای مفیدی است [۱۸].

گلیکوزیدهای استویول^۱، یکی از رایج‌ترین شیرین‌کننده‌های طبیعی، مولکول‌های استخراج شده از برگ گیاه استویا ربودیانا^۲ هستند که بومی برزیل، پاراگوئه و پرتغال می‌باشد. غلظت استویوزید در این گیاه به اندازه‌ای زیاد است که می‌توان به طور مستقیم از آن به عنوان شیرین‌کننده استفاده کرد. این برگ‌ها در اروپا اجازه استفاده ندارند اما شکل خالص شده ترکیبات گلیکوزیدی استویول مجاز هستند. آن‌ها با آب داغ استخراج شده و سپس در محلول هیدروکلریک مجدداً کریستاله می‌شوند. گلیکوزیدهای استویول از مخلوطی از ترکیبات متفاوت تشکیل می‌شوند، یعنی استویوزید (۱۰-۵٪)، ربودیوزید A (۵-۲٪)، ربودیوزید C (۱٪)، ذلکوزید A (۵-۰٪)، ربودیوزید D، E و F (۲-۰٪). بین این ترکیبات، شیرین‌ترین ماده ربودیوزید A می‌باشد.

باشد. ترکیب این مولکول‌ها قدرت شیرین‌کنندگی بیش از ۳۰۰ برابر ساکارز و حدود ۴ ADImg/kg به ازای وزن بدن در روز دارد. نقش انرژی‌زایی آن ناچیز بوده و بنابراین برای بیماران دیابتی ایمن در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این خصوصیتی مانند ضد التهابی، ضد باکتریایی، مناسب بودن برای قلب و اثرات ادرارآور نیز به این ترکیبات نسبت داده می‌شود. این شیرین‌کننده در برابر حرارت نسبتاً پایدار بوده و در دامنه‌ای از pH ۱۰-۲ فعالیت می‌کند. شکل خالص استویوزید یک پس طعم ماندگار دارد درحالی‌که ربودیوزید A هیچ پس طعمی را ایجاد نمی‌کند [۳۸ و ۳۹].

قندهای الکلی دارای شاخص گلیسمیک بسیار کوچکتر از شکر هستند و در نتیجه برای تولید غذاهای دیابتی به عنوان شیرین‌کننده مناسب می‌باشند. این ترکیبات گاهی به ندرت در روده کوچک جذب می‌شوند اما در بدن متابولیزه نشده و از طریق ادرار دفع می‌شوند و بخشی از آن‌ها که در روده کوچک جذب نمی‌شوند به عنوان سوبسترا برای تخمیر در روده بزرگ استفاده می‌گردند [۴۰].

از مهم‌ترین این گروه شیرین‌کننده‌های الکلی می‌توان به سوربیتول، زایلیتول و اریتریتول اشاره کرد. زایلیتول یک قند الکلی با شیرین‌کنندگی مشابه شکر است که در میوه‌ها و سبزی‌ها یافت می‌شود. این قند دارای مزایای زیادی است که از آن جمله می‌توان به عدم شرکت در واکنش میلارد اشاره کرد. مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد این شیرین‌کننده به تنهایی یا در ترکیب با سایر شیرین‌کننده‌ها موجب بهبود بافت، رنگ، طعم و پایداری بیشتر در مقایسه با شیرین‌کننده‌ای مانند ساکارز می‌شود. زایلیتول

1. Steviol glycosides
2. Stevia rebaudiana

می‌شود. افراد دیابتی این ترکیب را به شکل قرص به جای شکر استفاده می‌کنند. این پودر سفید رنگ کریستالی بدون بو که در سال ۱۹۶۵ کشف شد به میزان ۱۸۰-۲۰۰ برابر شیرین تر از شکر است. به دلیل این شدت شیرینی کاربرد مقدار کم آن در محصول موجب ایجاد طعم مناسب می‌شود در حالی که کالری تولید نمی‌کند [۳۷، ۴۲].

سوکرالوز با نام تجاری اسپلندا، شیرین‌کننده بسیار قوی با قدرت شیرینی ۶۰۰ برابر بیش از شکر است. در انواع مختلف غذاهای فرآوری شده و نوشیدنی‌ها با تایید سازمان‌های بین‌المللی از جمله اداره مواد غذایی و دارویی ایالات متحده آمریکا، سازمان مشترک غذا و کشاورزی، کمیته تخصصی مواد افزودنی، کمیته علمی غذایی اتحادیه اروپا، شاخه حفاظت سلامتی، وزارت رفاه و سلامت کانادا و استاندارد غذایی استرالیا و نیوزلند به عنوان جایگزین شکر استفاده می‌شود [۴۳ و ۴۲]. اگر چه سوکرالوز از قند ساخته شده است، ولی برای باکتری‌های دهانی که باعث پوسیدگی دندان می‌شوند قابل استفاده نبوده و در نتیجه فرد در معرض خطر افزایش پوسیدگی دندان نیز قرار نمی‌گیرد [۲۱].

سوکرالوز بدون متابولیزه شدن در بدن، از آن عبور کرده و به سرعت دفع می‌شود، در نتیجه شیرین‌کننده مناسب برای دیابتی‌ها محسوب می‌گردد [۲۱]. تولید بستنی رژیمی با جایگزینی سوکرالوز به جای شکر نشان داد نمونه‌ها در رنگ، عطر و بو با یکدیگر تفاوتی نداشتند و ویژگی بافت، احساس دهانی و پذیرش کلی بستنی تنها با جایگزینی سوکرالوز تا سطح ۲۰ درصد در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود [۲۰].

آسسولفام پتاسیم یکی از شیرین‌کننده‌های قوی است که متابولیزه نشده و بدون تغییر در بدن دفع می‌شود. این ماده در مقابل دماهای بالای پخت مقاوم است اما مقداری پس‌طعم تلخ دارد. این شیرین‌کننده نیاز به مطالعات وسیع سرطان‌زایی و جهش‌زایی دارد تا ایمنی آن تایید شود. به میزان زیادی در تهیه نوشیدنی‌ها و غذاها کاربرد داشته و بعد از آسپارتام از بیشترین میزان محبوبیت برخوردار است.

ساخارین یکی از قدیمی‌ترین شیرین‌کننده‌های مصنوعی است و بیش از ۱۲۵ سال قدمت دارد. استفاده از آن در سال ۱۹۷۷ به دلیل ایجاد سرطان در موش‌ها ممنوع شد. این ممنوعیت در سال ۱۹۹۱ بعد از بررسی‌های دقیق برداشته شد. تا این اواخر یک برچسب

به همراه فروکتوز قند توصیه شده برای بیماران دیابتی است. [۴۱].

اریتریتول یک پودر سفید بدون بو با طعم شیرین مشابه ساکارز است. حدود ۷۰ درصد ساکارز شیرین‌کنندگی داشته و خواص هیگروسکوپی ندارد. این شیرین‌کننده برای غذاهای کم کالری و بدون قند مناسب می‌باشد. از سال ۱۹۹۰ این ترکیب تولید و به غذاها و نوشیدنی‌ها افزوده شد تا هم شیرینی آن‌ها و هم بافت و طعمشان را تامین کند. این شیرین‌کننده برای بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ مناسب می‌باشد [۴۱].

باید توجه داشت که مصرف قندهای الکلی برای کودکان نوپا کمتر از ۱ سال، به دلیل اثرات ملین آن که می‌تواند اسهال شدید ایجاد کند، توصیه نمی‌شود. گرچه شواهدی در مورد سمیت سوربیتول وجود ندارد، در سال ۲۰۱۶، یک مطالعه نشان داد که سوربیتول می‌تواند ژنوتوکسیک^۱ باشد و واکنش‌های متابولیکی را در فرزندانش موشهای صحرایی ماده تغذیه شده با سوربیتول تحریک کند. مطالعه دیگری نشان داد که بیماران مبتلا به سندرم روده تحریک پذیر^۲ (IBS) دارای واکنش‌های نامطلوب گوارشی شبیه قندهای الکلی، به ویژه سوربیتول و مانیتول هستند. در مجموع، در حالیکه مصرف سوربیتول برای بیماران IBS با نگرانی‌هایی همراه است، به نظر می‌رسد برای افراد سالم ایمن باشد. با این وجود اثرات ملین آن در دزهای مصرفی بالا گزارش شده است. علاوه بر این، به تازگی نگرانی‌هایی در مورد قابلیت اختلال در دستگاه گدد درون‌ریز ناشی از گلیکوزیدهای استیوول به موضوع داغی تبدیل شده است، با این وجود تحقیقات بیشتر و عمیق‌تر در مورد ایمنی مصرف آن‌ها مورد نیاز است [۳۹].

۳-۲-۲- جایگزین‌های مصنوعی شکر

جایگزین کردن قندهای مصنوعی به جای ساکاروز، در اقلام غذایی که محتوی ساکاروز هستند همچون کیک، می‌تواند از افزایش ناگهانی قند خون پس از مصرف آن جلوگیری نماید [۹]. آسپارتام یک شیرین‌کننده مصنوعی است که به صورت وسیعی در تولید محصولات مختلف غذایی مانند آدامس، دسرهای، ماست، ویتامین‌ها، دسرهای لبنی شکلاتی، محصولات نانوائی، داروها و خصوصاً در نوشیدنی‌های رژیمی به عنوان جایگزین شکر استفاده

1. Genotoxic
2. Irritable bowel syndrome

هشدار برای محصولات حاوی ساخارین الزامی بود. این ترکیب اخیراً از لیست ترکیبات سرطان‌زا خارج شده است. ساخارین دارای یک پس‌طعم فلزی و تلخ بوده و در دماهای بالا ناپایدار است. مصرف این شیرین‌کننده برای خانم‌های باردار محدودیت دارد زیرا در جفت تجمع می‌یابد [۴۴].

۳-۳- غذا داروها^۱

کورکومین ترکیب زرد رنگی است که از گیاهی با نام علمی *کورکوما لونگا* به دست می‌آید مصرف آن در مقیاس گرم برای انسان ایمن گزارش شده است. این ماده از خانواده کورکومینوئیدها بوده و قرن‌ها است که در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و تاکنون اثر سمیتی از آن گزارش نشده است [۱۵]. مطالعات متعدد انجام شده بر روی این ماده نشان دهنده ی خواص آنتی اکسیدانی، ضد باکتری، ضد قارچ، ضد ویروس، ضد التهاب و دارای پتانسیل درمانی فوق العاده برای بیماری‌های عصبی، تورم مفاصل، آلرژی، مسمومیت کلیوی، بیماری‌های قلبی عروقی و دیابت است [۴۵].

کورکومین در صنعت غذا به عنوان یک افزودنی رنگ‌دهنده به کار می‌رود و در صنایع لبنی، روغن و چربی‌ها، فرآورده‌های قنادی، فرآورده‌های غلات، گوشت، فرآورده‌های گوشتی و ادویه‌جات استفاده می‌شود [۴۶]. ساختار شیمیایی و نیروهای چندگانه خاص کورکومین باعث می‌شود که این مولکول قادر باشد در فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی فراوانی شرکت کند. مصرف کورکومین باعث کاهش التهاب و در نتیجه منجر به ترشح انسولین در بدن و عملکرد انسولین شده و در تعدیل دیابت مؤثر می‌باشد و به نظر می‌رسد که می‌توان آن را به عنوان یک مکمل ارزشمند در پیشگیری و درمان طیف وسیعی از بیماری‌های امروزی، مانند آلزایمر و مکملی مؤثر برای کنترل و مدیریت بیماری دیابت در نظر گرفت. به نظر می‌رسد کورکومین با تاثیر بر عوارض دیابت، اثر بخشی بر چربی خون و مهار آترواسکلروز (تصلب شرایین) موجب کنترل این بیماری می‌شود. نتایج مطالعات بر روی حیوانات نشان داده است که مصرف کورکومین سبب کاهش

کلسترول و تری گلیسرید و افزایش لیپوپروتئین با دانسیته بالا^۳ می‌شود [۴۷].

در راستای کاربرد غذا داروها برای بیماران مبتلا به دیابت، شواهد اخیر حاکی از آن است که دریافت آنتی‌اکسیدان‌ها و سین‌بیوتیک‌ها به خاطر اثر بر سابتوکین‌های التهابی و استرس اکسیداتیو ممکن است بر وضعیت گلاسمیک و چربی‌های خون بیماران دیابتی مؤثر باشد. مکمل یاری سین‌بیوتیک در افرادی با سندرم متابولیک برای ۲۸ هفته پارامترهای هموستاز گلوکز و پروفایل‌های لیپیدی را بهبود بخشید [۶]. نتایج پژوهش مزروعی آرانی و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که مصرف گز سین بیوتیک و حاوی لاکتوباسیلوس اسپروژنز و اینولین به همراه شیرین‌کننده استویا در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ منجر به کاهش سطح انسولین سرمی و نشانگر التهابی شد [۴۸].

سیدی و همکاران در سال ۱۳۹۵ به بررسی اثر مصرف گز سین بیوتیک غنی شده با بتاکاروتن‌حاوی لاکتوباسیلوس اسپروژنز و اینولین بر بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ برای مدت ۶ هفته پرداختند. نتایج نشان داد که مصرف این گز به طور معنی‌داری غلظت انسولین سرمی، شاخص مقاومت به انسولین، تری گلیسرید سرم، و نسبت کلسترول کل به کلسترول با دانسیته بالا را بهبود بخشید [۱۳].

لیانگ و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه خود نشان دادند که مصرف یک سین‌بیوتیک حاوی لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس، فروکتوالیگوساکارید، اینولین و مانیتول منجر به کاهش تری گلیسرید، کلسترول، کلسترول با دانسیته پایین و افزایش کلسترول با دانسیته بالا در نمونه‌های خوک مورد مطالعه شد [۴۹].

۳-۴- مصرف کربوهیدرات‌های با قابلیت هضم

پایین

اگرچه هضم و جذب سریع کربوهیدرات‌ها در برخی موارد مانند غذاهای ورزشی یک مزیت محسوب می‌شود اما در مورد بیماران دیابتی مطلوب نیست. برعکس در این بیماران مصرف کربوهیدرات‌هایی که آرام‌تر تجزیه می‌شوند مناسب است [۵۰]. کربوهیدرات‌های با قابلیت هضم پایین آندسته از کربوهیدرات‌ها هستند که در روده‌ی کوچک به صورت ناقص هضم و جذب

1. Medical Food
2. *Curcuma longa*

3. HDL

شده و در روده بزرگ نیز حداقل به صورت نسبی تخمیر می‌شوند و انرژی کمتری در مقایسه با کربوهیدرات‌های با قابلیت هضم بالا تولید می‌کنند. فیبرها نیز در روده‌ی کوچک جذب نمی‌شوند اما در روده‌ی بزرگ تخمیر و / یا دفع می‌گردند. قندهای الکلی که اغلب پلی‌ال نامیده می‌شوند به عنوان جایگزین شکر برای قندهایی مانند ساکارز یا شربت ذرت با فروکتوز بالا استفاده شده و در محصولات مختلفی از آبنبات و آدامس تا بستنی و محصولات نانوبی کاربردی دارند.

مصرف کربوهیدرات‌های با قابلیت هضم پایین دارای مزایای زیادی برای سلامتی انسان است مانند کاهش خطر بیماری‌های مزمن. علت این مزایا به هضم، جذب، تخمیر و / یا دفع ناقص آن‌ها برمی‌گردد. مصرف میزان کافی فیبرهای رژیمی (خصوصاً فیبرهای غلات) سبب کاهش خطر بیماری‌های قلبی عروقی می‌شود. تحقیقات نشان داده‌اند که مصرف این فیبرها منجر به کاهش خطر دیابت نیز می‌شوند. فیبرهای خاص مانند صمغ گوار، اینولین، بتاگلوکان، پکتین، دکسترین‌های مقاوم و نشاسته مقاوم سبب بهبود پاسخ‌های گلوکز خون می‌شوند [۵۱].

قندهای الکلی به ازای هر گرم تقریباً معادل نصف کربوهیدرات‌های قابل هضم انرژی آزاد می‌کنند. بنابراین در غذاهایی که از این قندها استفاده شود به مصرف‌کننده امکان دریافت انرژی کمتر و حفظ وزن را می‌دهد. همچنین قندهای الکلی غیرسرطانزا و با شاخص گلیسمیک پایین هستند؛ بنابراین غذاهای متشکل از این کربوهیدرات‌های با قابلیت هضم پایین انتخاب مناسبی برای مصرف‌کنندگان خصوصاً بیماران دیابتی است [۵۱].

۳-۵- سیاست کاهش تدریجی

از نقطه نظر درک طعم، مقدار شکر مطلوب در مواد غذایی، بین افراد متغیر است و تابعی از مصرف منظم شکر توسط هر فرد می‌باشد. به عبارت دیگر، با مصرف شکر به میزانی کمتر از مقادیر نرمال در یک ماده غذایی خاص، مصرف‌کنندگان ممکن است در ابتدا، آن محصول غذایی را به صورت بدون طعم رد کنند اما به تدریج به مصرف کمتر شکر عادت خواهند کرد. بنابراین اغلب یک تغییر تدریجی برای جلوگیری از رد شدن توسط مصرف‌کننده، استفاده می‌شود. این روش اغلب می‌تواند منجر به کاهش معقول در اجزاء فرمولاسیون، از جمله شکر شود، بدون اینکه

اثرات نامطلوبی روی طعم و پذیرش کلی مصرف‌کننده بگذارد. به عنوان مثال مطالعه‌ای روی شیر کاکائو در بین مصرف‌کنندگان اروگوئه‌ای نشان داد که کاهش شکر تا ۴۰٪، علاقه مصرف‌کننده را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد [۵۲]. اولویرا پینلی و همکاران (۲۰۱۶) نیز کاهش شکر را در نکتار پرتقال در بین مصرف‌کنندگان برزیلی بررسی کردند. کاهش مقدار شکر از ۱۰٪ به ۸/۵٪، پذیرش را تحت تأثیر قرار نداد و شیرینی ایده‌آل در ۷/۳٪ گزارش شد. مانع اصلی برای کاهش بیشتر شکر با استفاده از این روش، احتمال بالای رد شدن توسط مصرف‌کننده، به ویژه در محصولات جدید، می‌باشد. تولیدکنندگان مخالف کاهش مقدار شکر در حد پایین‌تر از مقدار ایده‌آل مصرف‌کننده هستند، چون آن منجر به رد شدن توسط مصرف‌کننده و افت درآمد آن‌ها می‌گردد [۵۳].

۳-۶- کاربرد بهبود دهنده‌ها

بهبود دهنده‌ها از طریق افزایش درک و تشخیص طعم‌های دیگر یا درک شیرینی، در محصول نهایی عمل می‌کنند و به جبران کردن کاهش طعم با حذف شکر کمک می‌کنند. یک مثال جالب در این زمینه، استفاده از تعدیل‌کننده‌های آلوستریک مثبت می‌باشد. سروانت و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که این تعدیل‌کننده‌ها، مزه شیرینی سوکرالوز و ساکارز را در یک گیرنده مزه شیرین که بر پایه سلولی طراحی شده است، به میزان چشمگیری (به ترتیب ۲۰ و ۱/۳ برابر) افزایش می‌دهند. البته باید توجه داشت که خود این ترکیبات هیچ طعم خاصی را نمی‌توانند ایجاد نمایند [۵۴]. اولین مورد از این ترکیبات توسط شرکت سینومیکس در سال ۲۰۰۷، ارائه شد. توضیحات بیشتر در مورد این ترکیبات در مقاله دوبویس و پراکاش (۲۰۱۲) ارائه شده است. عیب اصلی این روش، هزینه مضاعف بهبود دهنده‌ها می‌باشد که در مقایسه با شکر، بالاتر خواهد بود. علاوه بر این، داده‌های سم‌شناسی مربوط به WHO را ندارند. همچنین آزمون‌های ایمنی انسانی تعدیل‌کننده‌ها در ترکیب با ساکارز به طور کافی دردسترس نیست [۵۵].

۳-۷- پروفایل رهایش

درک و تشخیص شکر به وسیله میزان همگنی و یکپارختی آن در محصول تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در مطالعه‌ای اثر توزیع غیریکپارخت شکر در داخل ژلاتین به عنوان یک محصول غذایی

مشکل انتشار هستند که نیاز به تحقیقات بیشتر روی آن‌ها وجود دارد.

روش دیگر برای افزایش درک شیرینی و کاهش مقدار شکر در محصولات غذایی جامد، تغییر رهایش سیال از ساختار غذایی جامد می‌باشد. مقدار رهایش بیشتر سیال حاوی شکر حل شده، از یک ساختار در طی جویدن، می‌تواند مقدار شکر رسیده به گیرنده‌های طعم شیرینی را افزایش دهد [۵۹]. سالا و همکاران (۲۰۱۰) این مکانیسم را از طریق تولید یک ژل مخلوط از پروتئین آب پنیر و صمغ ژلان نشان دادند. آن‌ها ترکیب فرمولاسیون ژل را تغییر دادند تا ساختارهایی را ایجاد کنند که ویژگی‌های بافتی مشابه اما متفاوت در رهایش سیال داشته باشند. ارزشیابی حسی مشخص کرد که افزایش در رهایش سیال، شدت شیرینی را افزایش می‌دهد. طوریکه شیرینی ژل‌های با ۱۲٪ رهایش سیال با ژل‌های دارای تنها ۲٪ رهایش سیال اما ۳۰٪ شکر بیشتر، یکسان بود. این روش جهت تولید غذاهای کم شکر نیمه جامد، در مقیاس وسیع مناسب می‌باشد هرچند کاربرد آن در مواد غذایی خشک با مقدار آب پایین محدود می‌شود [۶۰].

تغییر در میزان شکست ذرات در طی جویدن نیز می‌تواند درک شیرینی را تحت تأثیر قرار دهد. سالا و استیگر (۲۰۱۳) این اثر را با ژل‌های مخلوط ژلاتین-آگار-روغن حاوی ۶٪ شکر بررسی کردند. ویژگی‌های شکست ژل‌ها، با تغییر نسبت آگار-ژلاتین و تغییر اندازه ذرات روغن درون ژل، کنترل گردید و ژل‌هایی با مدول یانگ و کرنش شکست متفاوت و در نتیجه میزان شکست متفاوت اندازه ذرات محصول در طی جویدن تولید شد. نتایج نشان داد که شدت شیرینی اکثر ژل‌های شکننده، دو برابر شدت شیرینی ژل با حداقل شکنندگی می‌باشد. به نظر می‌رسد، میزان شکست ذرات، به دلیل ایجاد مساحت سطح متفاوت بین ساختارهای متفاوت، میزان رهایش شکر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هرچه ژل شکننده‌تر باشد (با کرنش شکست کمتر)، اندازه آن در طی جویدن سریع‌تر کاهش می‌یابد و منجر به تحریک سریع‌تر و ناپیوسته گیرنده‌های طعم می‌شود و بنابراین شدت شیرینی چشیده شده افزایش می‌یابد. البته ارزشیابی حسی انجام گرفته در این مطالعه، تنها شیرینی را در نظر گرفته است و لازم است سایر خصوصیات حسی مانند پذیرش کلی و بافت نیز بررسی گردد [۶۱].

مدل، روی شدت تشخیص و درک شیرینی بررسی شد. نتایج نشان داد که نمونه‌های ژلی لایه لایه شده، با غلظت‌های متفاوت (وجود لایه‌های تناوبی حاوی شکر زیاد و کم) و حفظ ساختار نمونه اما با کاهش مقدار کل، به طور مؤفقیته آمیزی، تهیه شدند. از نظر ارزیابان حسی، نمونه‌های با غلظت یکسان، اما توزیع متفاوت، شکر بیشتری نسبت به نمونه‌های یکنواخت داشتند [۵۶]. توزیع طعم دهنده درون فرآورده غذایی، نه تنها تشخیص و درک آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه پروفایل رهایش نیز می‌تواند اثراتی داشته باشد. تغییر رهایش طعم دهنده و در عین حال حفظ مقدار کل شکر، با استفاده از تجهیزات جریان سیال پیوسته، که در آن غلظت در طی زمان قابل تنظیم می‌باشد، بررسی شده است. به عنوان مثال، بورسگ و همکاران (۲۰۱۰) برای اواین بار نشان دادند که با خوردن غلظت بالاتری از شکر در ابتدای مصرف و سپس دریافت مقدار کمتر توسط مصرف کننده، حداکثر تا ۱۴٪ افزایش طعم تشخیص داده شده را به همراه خواهد داشت، در حالیکه غلظت کل مشابهی توسط مصرف کننده، خورده شد. این روش، با تحریک غیر پیوسته گیرنده‌های چشایی در ارتباط است. موازی با کاهش اندازه ذرات یک ساختار غذایی جامد در طی جویدن، آن‌ها گیرنده‌های طعمی را در حفره دهان تحریک می‌کنند. زمانیکه یک ساختار جامد حاوی شکر با توزیع غیر یکنواخت باشد، بعضی ذرات، دارای غلظت خیلی زیاد شکر خواهند بود که با گیرنده‌های طعم در تماس می‌باشند، درحالیکه بعضی ذرات دیگر در تماس با گیرنده‌ها، حاوی هیچ شکر نیستند. این امر، تحریک غیر پیوسته گیرنده‌های طعم شیرینی را ایجاد می‌کند و در مقایسه با یک ساختار جامد حاوی شکر با توزیع یکنواخت، شدت درک شیرینی را افزایش می‌دهد [۵۷].

مُسکا و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که ژل خوراکی با ۲۰٪ شکر کمتر و توزیع غیر یکنواخت، شیرینی مشابه‌ای را با نمونه ژل شاهد یکنواخت دارد. در نتیجه کاهش ۲۰ درصدی مقدار شکر با این روش امکان‌پذیر می‌باشد [۵۸]. با این وجود مانع اصلی برای استفاده از این روش در صنایع غذایی، حفظ پایداری اختلاف غلظت شکر می‌باشد چراکه برای یک محصول تجاری، شکر احتمالاً قبل از خورده شدن توسط مصرف کننده، در طی دوره نگهداری به تعادل می‌رسد. استفاده از سیستم‌های درون‌پوشانی و امولسیون، راهکارهای بالقوه جهت غلبه بر این

گرفته شود. بنابراین، احتمالاً روش‌هایی جهت کاهش شکر موفق هستند که هر یک از این سه عامل را با یکدیگر در نظر بگیرند. در شکل ۱ خلاصه ای از روش‌های کاهش/حذف شکر در مواد غذایی آورده شده است.

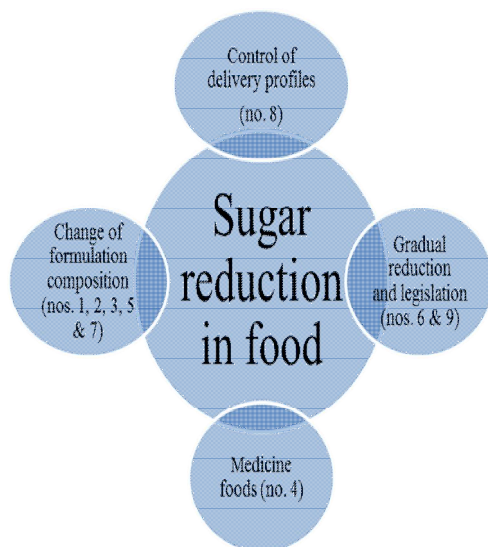


Fig 1 Schematic summarising the current approaches to sugar reduction in foods

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه بیماری دیابت از جمله اختلالات متابولیکی در حال رشد می‌باشد و عده‌ی کثیری از افراد به این بیماری مبتلا می‌گردند، توجه به برنامه غذایی مناسب در کنترل و درمان آن از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. با این وجود اکثر مطالعات انجام شده به ارزیابی برون یاخته‌ای فعالیت های ضد دیابتی پرداخته‌اند. به نظر می‌رسد در آینده می‌بایست راهکارهای تولید غذاهای مناسب برای افراد دیابتی در عرصه صنعت غذا مورد توجه قرار گیرند. برای رسیدن به این هدف و کاربرد عملی این راهکارها، بررسی سرنوشت بیولوژیکی چنین غذاهایی به صورت درون یاخته‌ای ضروری به نظر می‌رسد.

۶- منابع

- [1] Montazerifar, F., Karajibani, M., Ali Keikhaie, M. A., Dashipoor, A. R., Amian, M. and Nekuie, E. 2016. The effect of consumed breads on glycemic response of patients with type 2 diabetes. *Yafte*, 18(2): 67-75.

افزایش درک شیرینی با استفاده از روش‌های بالا، بیشتر در مورد مواد غذایی جامد کاربرد دارد اما این قابلیت برای نوشیدنی‌ها نیز با تغییر ویسکوزیته و مقدار ماده جامد فرمولاسیون وجود دارد. به عنوان مثال، سیالاتی که حاوی میزان یکسانی از شکر در مقایسه با سیالات با ویسکوزیته پایین‌تر هستند، کم شیرین‌تر تشخیص داده می‌شوند. این امر به دلیل تفاوت در مخلوط کردن ایجاد می‌شود: یک سیال با ویسکوزیته بالاتر، زمان بیشتری طول می‌کشد تا با بزاق مخلوط شود و در نتیجه ماده کمتری در تماس با سطوح دهان که دارای جوانه‌های چشایی هستند، قرار می‌گیرد. البته باید توجه داشت که کاهش ویسکوزیته، اثر منفی روی پذیرش مصرف کننده نداشته باشد. بنابراین روش‌های ایجاد ویسکوزیته و در عین حال به حداقل رساندن سرکوب حس شیرینی باید به دقت بررسی شود. انتخاب دقیق و درست هیدروکلئیدهای مناسب می‌تواند در این زمینه تعیین کننده باشد. به عنوان مثال، آرانسیبیا و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که دسرهای لبنی فرموله شده با مقدار شکر و ویسکوزیته یکسان، اما با قوام‌دهنده‌های متفاوت، می‌توانند شدت شیرینی متفاوتی را ایجاد کنند. این اثر ممکن است به دلیل تأثیر متفاوت قوام‌دهنده‌ها روی میزان رهایش شکر از ماده غذایی به بزاق باشد [۶۲].

۴- قانون‌گذاری

راه‌کارهای قانونی اعمال شده توسط دولت‌ها جهت کاهش مقدار شکر، می‌تواند شامل اعمال مالیات بر غذاهای با شکر بالا، برچسب گذاری اجباری مقدار شکر غذا، و تنظیم مقرراتی برای ادعاهای سلامتی مرتبط با تغذیه باشد. بدیهی است که مصرف ماده غذایی با قیمت آن مرتبط است و اثر مستقیمی روی پارامترهای سلامتی دارد. با توجه به هزینه‌هایی که درمان عوارض ناشی از مصرف بالای شکر از طریق مواد غذایی، مانند چاقی و دیابت بر اقتصاد کشور تحمیل می‌نماید، به نظر می‌رسد این راه-کار بتواند تأثیر بسزایی در کاهش مصرف شکر در تولید مواد غذایی مختلف بگذارد. البته، نقش شکر در مواد غذایی فراتر از فقط یک طعم دهنده ساده است. با حذف شکر، نیاز است که جنبه‌های طعمی، بافتی و میکروبیولوژیکی محصول جدید، در نظر

- textural and sensory properties of cake. MS thesis, TarbiatModares University, Tehran, Iran.
- [13] Sayyedi, F., Asemi, Z., Goli, M., Bahmani, F., Alizadeh, S. and Esmailzadeh, A. 2016. The Effect of SynbioticGaz Fortified with Beta-carotene Consumption on Glycemic Control and Blood Lipids of Patients with Type 2 Diabetes. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 11(1): 1-10.
- [14] Mazaheri, M., Saboury, A., HabibiRezaei, M., Farhadi, M. and Moosavi-Movahedi, A. 2017. Curcumin, a Molecule with Multiple Forces and Biological Modulators. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 12(1) :121-132.
- [15] Hatcher, H., Planalp, R., Cho, J., Torti, F. and Torti, S. 2008. Curcumin: from ancient medicine to current clinical trials. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 65(11):1631-52.
- [16] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives ((Italy ,Rome :۲۰۰۳World Health , Organization and Food and Agriculture) .Organization of the United Nations2004) . Evaluation of certain food additives and first report of the Joint-sixty :contaminants WHO Expert Committee on Food/FAO G .Additiveseneva: World Health Organization.
- [17] Raei, P., Peighambaroust, SH., Azadmard-Damirchi, S. and OladGhaffari, A. 2016. Effect of Replacement of Sucrose with Date Syrup on the Quality Characteristics of Sponge Cake.*Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 11(1): 87-94.
- [18] Ahmadnia, A. and Sahari, M. A. 2008. Using date powder in formulation of chocolate toffee.*Journal of Food Science and Technology*, 5:1-8.
- [19] Tufail, F., Pasha, I., Butt, M., Abbas, N. and Afzaal, S. 2002. Use of date syrup in the preparation of low caloric cakes replacing sucrose.*Pakistan Journal of Agricultural Sciences (Pakistan)*, 39.
- [20] Haghnazari, S., Bolandi, M. and Nazari, B. 2015. Formulation and preparation of ice cream replacing sugar with sucralose and its organoleptic characteristics.*Journal of Food Science and Technology*, 49(12): 153-145.
- [21] Grotz, V. L., Kruger, C. L., Flora, G., Haye, A. W. 2009. Mutagenicity Review of Sucralose, a Popular No-Calorie Sweetener.*International Journal of Toxicology*. Sage Publications Inc
- [2] Lawag, I. L., Aguinaldo, A. M., Naheed, S. and Mosihuzzaman, M. 2012. α -Glucosidase inhibitory activity of selected Philippine plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 144(1):217-219.
- [3] Tutelyan, V., Sharafetdinov, K. K., Plotnikova, O., Vorobiova, I., Kochetkova, A., Krul, E., Ouwehand, A., and Mendelson, G. 2016. Innovative Approaches in the Development of Specialized Food Products of Optimized Composition for Patients with Type 2 Diabetes. *Journal of Diabetes & Metabolism*, 7(10): 1000711.
- [4] Rudkowska, I. Functional foods for health: Focus on diabetes. *Maturitas*, 2009;62(3):263-269.
- [5] AhmadKiadaliri, A. and Najafi, B. 2012. Obesity in Type 2 Diabetes: A Review of Health Economics Evidences. *Hakim Research Journal*, 14(4): 233- 241.
- [6] Eslamparast, T., Zamani, F., Hekmatdoost, A., Sharafkhah, M., Eghtesad, S., Malekzadeh, R. and Poustchi, H. 2014. Effects of synbiotic supplementation on insulin resistance in subjects with the metabolic syndrome: a randomised, double-blind, placebo-controlled pilot study. *British Journal of Nutrition*, 112(3):438-445.
- [7] Mahan, L. K., Escott-Stump, S., Raymond, J. L. and Krause, M. V. 2012. *Krause's Food and the Nutrition Care Process*, Elsevier Health Sciences.
- [8] Paul, S. 1999. AACC.Approved method of the American Association of Cereal Chemists.American Association of Cereal Chemists.Ins.
- [9] Hakami, R., Azar, M., Taleban, FA. And Velaei, N. 1999. Formulation and production of dietetic ice creams and evaluation of their glycemic index in type 2 diabetic patients. *Pajouhandeh*, 4(3): 215-221.
- [10] Fekri, B., Azar, M. and Mazloumi, MT. 2003. Formulation and production of cake for diabetics.*Pajouhandeh*, 8(3): 9-15.
- [11] Lalegani, S., Ahmadi Gavlighi, H., Azizi, M. H. and AminiSarteshnizi, R. 2018 .Inhibitory activity of phenolic-rich pistachio green hull extract-enriched pasta on key type 2 diabetes relevant enzymes and glycemic index.*Food Research International journal*, 105: 94-101.
- [12] Mirab, B. 2016. Effect of pomegranate peel extract on starch digestion and physicochemical,

- extracts. *Iranian journal of basic medical sciences*, 17(6), 465.
- [32] Zhao, T., Sun, L., Wang, Z., Nisar, T., Gong, T., Li, D., Niu, P., & Guo, Y. 2019. The antioxidant property and α -amylase inhibition activity of young apple polyphenols are related with apple varieties. *LWT*, 111, 252-259.
- [33] Figueiredo-González, M., Reboredo-Rodríguez, P., González-Barreiro, C., Carrasco-Pancorbo, A., Cancho-Grande, B., & Simal-Gándara, J. 2019. The involvement of phenolic-rich extracts from Galician autochthonous extra-virgin olive oils against the α -glucosidase and α -amylase inhibition. *Food Research International*, 116, 447-454.
- [34] Yuan, G., Li, W., Pan, Y., Wang, C., & Chen, H. 2018. Shrimp shell wastes: Optimization of peptide hydrolysis and peptide inhibition of α -amylase. *Food Bioscience*, 25, 52-60.
- [35] Wang, R., Zhao, H., Pan, X., Orfila, C., Lu, W., & Ma, Y. 2019. Preparation of bioactive peptides with antidiabetic, antihypertensive, and antioxidant activities and identification of α -glucosidase inhibitory peptides from soy protein. *Food Science & Nutrition*, 7(5), 1848-1856.
- [36] Oboh, G., Akinyemi, A., & Ademiluyi, A. 2012. Inhibition of α -amylase and α -glucosidase activities by ethanolic extract of *Telfairia occidentalis* (fluted pumpkin) leaf. *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*, 2(9), 733-738.
- [37] Monaco, R. D., Miele, N. A., Cabisidan, E. K. and Cavalla, S. 2018. Strategies to reduce sugars in food. *Current Opinion in Food Science*, 19:92-97.
- [38] Ranjan, R., Jaiswal, J. and Jena, J. 2011. Stevia as a natural sweetener. *International Journal of Research in pharmacy and chemistry*, 1(4):1199-1202.
- [39] 17. Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come. *Food and Chemical Toxicology*, 107, 302-317.
- [40] Englyst, K. N., and Englyst, H. N. 2005. Carbohydrate bioavailability. *British Journal of Nutrition*, 94(01): 1-11.
- [41] Pryia, K., Mohan Gupta, V. M. and Srikanth, K. 2011. Natural Sweeteners: A Complete Review. *Journal of Pharmacy Research*, 4(7):2034-2039.
- [42] Rycerz, K. and Elzbieta Jaworska-Adamu, J. 2013. Effects of aspartame metabolites on 2455 Teller RD, Thousand Okas, CA 91320 USA.
- [22] Janssen, A. M., Terpstra, M. E., De Wijk, R. A. and Prinz, J. F. 2007. Relations between rheological properties, saliva - induced structure breakdown and sensory texture attributes of custards. *Journal of Texture Studies*, 38(1):42-69.
- [23] National Diabetes Data Group (U.S.), National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, (U.S.), and Natiomazaherinal Institutes of Health (U.S.) 1995. Diabetes in America / National Diabetes Data Group. 2nd National Institutes of Health, National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, No.96-146.
- [24] Soukoulis, C. and Tzia, C. 2010. Response surface mapping of the sensory characteristics and acceptability of chocolate ice cream containing alternate sweetening agents. *Journal of Sensory Studies*, 25(1):50-75.
- [25] Kim, Y. M., Wang, M. H. and Rhee, H. I. 2004. A novel α -glucosidase inhibitor from pine bark. *Carbohydrate research*, 339 (3):715-717.
- [26] Shim, Y. J., Doo, H. K., Ahn, S. Y., Kim, Y. S., Seong, J. K., Park, I. S. and Min, B. H. 2003. Inhibitory effect of aqueous extract from the gall of *Rhus chinensis* on alpha-glucosidase activity and postprandial blood glucose. *Journal of Ethnopharmacology*, 85(2-3):283-287.
- [27] Asano, N. 2003. Glycosidase inhibitors: update and perspectives on practical use. *Glycobiology*, 13(10):93-104.
- [28] Poursharifi, M. and Zarei, M. 2016. Alpha-Glucosidase Inhibitory Activity in Hexane Extracts of some Plants from Kurdistan Province. *Journal of Medicinal Plants*, 58(2):120-133.
- [29] Son, H. U. and Lee, S. H. 2013. Comparison of α -glucosidase inhibition by *Cudratiatricuspidata* according to harvesting time. *Biomedical reports*, 1(4):624-8.
- [30] Zhang, J., Zhao, S., Yin, P., Yan, L., Han, J., Shi, L., Zhou, X., Liu, Y. and Ma, C. 2014. α -Glucosidase inhibitory activity of polyphenols from the burs of *Castaneamollissima* Blume. *Molecules*, 19(6):8373-86.
- [31] Rahimzadeh, M., Jahanshahi, S., Moein, S., & Moein, M. R. 2014. Evaluation of alpha-amylase inhibition by *Urtica dioica* and *Juglans regia*

- [53] Oliveira Pineli, L. L., Aguiar, L. A., Fiusa, A., Botelho, R. B. A., Zandonadi, P. R. and Melo, L. 2016. Sensory impact of lowering sugar content in orange nectars to design healthier, low-sugar industrialized beverages. *Appetite*, 96:239–244.
- [54] Servant, G., Tachdjian, C., Tang, X. Q., Werner, S., Zhang, F., Li, X., Kamdar, P., Petrovic, G., Ditschun, T., Java, A., Brust, P., Brune, N., DuBois, G. E., Zoller, M., & Karanewsky, D. S. (2010). Positive allosteric modulators of the human sweet taste receptor enhance sweet taste. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(10):4746–4751.
- [55] DuBois, G. E., and Prakash, O. 2012. Non-caloric sweeteners, sweeteners modulators and sweetener enhancers. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3(1): 353–380.
- [56] Holm, K., Wendin, K. and Hermansson, A.-M. 2009. Sweetness and texture perceptions in structured gelatin gels with embedded sugar rich domains. *Food Hydrocolloids*, 23(8):2388 – 2393.
- [57] Burseg, K. M. M., Brattinga, C., de Kok, P. M. T. and Bult, J. H. F. 2010. Sweet taste enhancement through pulsatile stimulation depends on pulsation period not on conscious pulse perception. *Physiology and Behavior*, 100(4): 327–331.
- [58] Mosca, A. C., van de Velde, F., Bult, J. H., van Boekel, M. A., and Stieger, M. 2010. Enhancement of sweetness intensity in gels by inhomogeneous distribution of sucrose. *Food Quality and Preference*, 21(7), 837–842.
- [59] Mosca, A. C., F. Velde v. d., J. H. F. Bult, M. A. J. S. van Boekel, and M Stieger. 2010. Enhancement of sweetness intensity in gels by inhomogeneous distribution of sucrose. *Food Quality and Preference*, 21 (7):837–42.
- [60] Sala, G., M. Stieger, and F. van de Velde. 2010. Serum release boosts sweet ness intensity in gels. *Food Hydrocolloids*, 24(5):494–501.
- [61] Sala, G., and M. Stieger. 2013. Time to first fracture affects sweetness of gels. *Food Hydrocolloids*, 30(1):73–81.
- [62] Arancibia, C., Costell, E. and Bayarri, S. 2013. Impact of structural differences on perceived sweetness in semisolid dairy matrices. *Journal of Texture Studies*, 44 (5):346–56.
- astrocytes and neurons. *Folia Neuropathol*, 51(1):10–17.
- [43] Soukoulis, C., Lebesi, D. and Tzia, C. 2009. Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. *Food Chemistry*, 115(2):665–71.
- [44] Modi, S.V. and Borges, V. J. 2005. Artificial sweeteners: boon or bane? *International Journal of Diabetes in Developing Countries*, 5:1–6.
- [45] Sadoughi, S. 2017. The effect of curcumin on serum levels of adiponectin and lipid profile in alloxan-induced diabetic rats. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*, 9(1) :101–108.
- [46] Rafiee, Z., Nejatian, M., Daeihamed, M., & Jafari, S. M. 2019. Application of curcumin-loaded nanocarriers for food, drug and cosmetic purposes. *Trends in Food Science & Technology*.
- [47] Adibian, M., Hodaie, H., Hedayati, m. and Sohrab, G. 2017. Effect of curcumin supplementation on risk factors of cardiovascular disease in patient with type 2 diabetes. *Research in Medicine*, 41(2): 86–96.
- [48] MazrueiArani, N., Baghaei, H., Khorrami Rad, A., Asemi, Z., Alizadeh, S. and Esmailzadeh, A. 2013. Effect of SynbioticGaz Consumption on Insulin Resistance, Inflammatory Factor and Parameters of Oxidative Stress in Patients with Type 2 Diabetes. *Journal of Arak University of Medical Sciences*, 16(6): 72–81.
- [49] Liong, M. T., Dunshea, F. R. and Shah, N. P. 2007. Effects of a symbiotic containing Lactobacillus acidophilus ATCC 4962 on plasma lipid profiles and morphology of erythrocytes in hypercholesterolaemic pigs on high-and low-fat diets. *British Journal of Nutrition*, 98(4):736–44.
- [50] Englyst, K. N., and Englyst, H. N. 2005. Carbohydrate bioavailability. *British Journal of Nutrition*, 94(01): 1–11.
- [51] Grabitske, H. A., and Slavin, J. L. (2008). Low-digestible carbohydrates in practice. *Journal of the American Dietetic Association*, 108(10):1677–1681.
- [52] Oliveira, D., L. Antunez, A. Gimenez, J. C. Castura, R. Deliza, and G. Ares 2015. Sugar reduction in probiotic chocolate-flavored milk: impact on dynamic sensory profile and liking. *Food Research International*, 75:148–56.

Strategies Used in Production of sugar-Free or low-sugar Foods for Diabetes Management

Nejatian, M. ¹, Derogar, S. R. ², Darabzadeh, N. ^{3*}

1. Department of Food Science and Technology, School of Nutrition Sciences and Food Technology, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

2. Health Research Center, Life Style Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, TarbiatModares University, Tehran, Iran

(Received: 2018/12/14 Accepted:2019/06/09)

Diabetes is an inherited and/or acquired chronic disease. It is one of the most common metabolic disorders caused by deficiency in production of insulin, or reduction of organ responses to secreted insulin. Prevalence of diabetes is high in the developing country and it is the 4th main cause of death and the major cause of blindness in adults. Since the main goal of diabetes treatment is the control of blood sugar level in the normal range and providing adequate conditions for insulin activity to reduce vascular and neurological diseases, nutritional treatment, food diet and the control of weight are the most solutions. On the other hand, the lack of appropriate food alternatives demonstrates the need for research on developing the special formulation of products designed for diabetic patients. The inhibition of α -amylase and α -glucosidase activities, natural and artificial sweeteners in formulations, medicined foods, low digestible carbohydrates, gradual decrease, enhancers, release profile and legislation are the most important ways for control of diabetic diet.

Keywords: Diabetes, Food formulation, Sweeteners, Medicinal foods, Amylase inhibitor

* Corresponding Author E-Mail Address: Darabzadehnazanin@yahoo.com