مروری بر جایگزین‌های شکر: مانیتول و مالتیتول

A review of sugar substitutes: mannitol and maltitol

ماندانا زورمند [۱]، شیلا برنجی [۲]

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۰ **پذیرش:۱۴۰۲/۰۲/۱۴**

چکیده

امروزه مصرف مواد غذایی که باعث کمک به بهبود سلامتی و کاهش ریسک ناشی از بیماری‌های مختلف می‌گردند در مصرف کنندگان رو به افزایش می‌باشد در این میان توجه زیادی به نوع خاصی از کربوهیدرات‌ها به نام کربوهیدرات‌های غیرقابل هضم معطوف شده است. این ترکیبات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فیزیولوژیکی سودمندی برای سلامت مصرف کنندگان داشته و به این دلیل مصرف این ترکیبات در حال حاضر در حال افزایش است. کربوهیدرات‌ها بر اساس وزن ملکولی یا درجه پلیمریزاسیون (تعداد مونوساکاریدهای سازنده) به مونوساکاریدها، اولیگوساکاریدها یا پلی‌ساکاریدها تقسیم‌بندی می‌شوند. به طور کلی شیرین کننده‌های جایگزین ساکاز را می‌توان به دو دسته شیرین کننده‌های مغذی و غیرمغذی تقسیم کرد. اغلب قندهای الکلی از جمله سوربیتول (E420)، مانیتول (E421)، ایزومالتوز (E953)، مالتیتول (E965)، لاکتیتول (E966) و زایلیتول (E967) جزء شیرین کننده‌های مغذی به شمار می‌روند. شیرین کنندگی قندهای الکلی ۱۰۰-۴۰٪ ساکارز می‌باشد. قندهای الکلی در طیف وسیعی از محصولات غذایی از جمله: ژله، شکلات و بستنی تا محصولات نانوایی قابل کاربرد هستند. اخیراً تولید ژله با طعم‌های مختلف و فرمولاسیون‌های متفاوت از جمله تولید ژله‌های کم کالری توسط محققان بررسی شده است. جایگزینی مالتیتول و مانیتول به جای شکر اثر معنی‌داری بر شاخص‌های pH، اسیدیته، مواد جامد محلول (بریکس) و رطوبت نداشت و بر شاخص‌های سینرزیس، قند کل و سختی بافت اثر معنی داری دارد.

کلمات کلیدی: ساکارز، ژله، مالتیتول، مانیتول

۱- مقدمه

امروزه می‌توان چاقی را یک بیماری تلقی کرد. مصرف قندهای ساده می‌تواند باعث بروز عارضه چاقی شود. وقتی یک منوساکارید یا الیگوساکارید در بدن می‌سوزد انرژی زیادی تولید می‌شود و در واقع این قندها کالری‌زایی بالایی دارند و در نهایت، انرژی حاصله به صورت بافت چربی در بدن ذخیره می‌گردد. هر چه مصرف قندها بیشتر باشد مخاطره بروز عارضه چاقی بیشتر می‌باشد (Galleri *et al*., 2012).

[۱] دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران، تهران، ورامین

[۲] استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران، تهران، ورامین

نویسنده مکاتبه کننده مسئول: Email: mandana.zorman@gmail.com

شیرین‌کننده‌ها در چهار گروه طبیعی، مصنوعی، تصفیه‌شده و الکل‌های قندی طبقه‌بندی می‌شوند. شیرین‌کننده‌های طبیعی از پرمصرف‌ترین منابع قندی هستند که تاریخچه مصرف طولانی دارند. با پیدایش صنعت قند و تولید انواع تصفیه‌شده شیرین‌کننده‌ها، مصرف مواد مذکور افزایش‌یافته و به طبع آن گسترش بیماری‌های قلبی و عروقی، چاقی، دیابت و سایر اختلالات متابولیکی که موجب تغییر در نحوه زندگی انسان‌ها بروز کرده، سبب شده با بشر به استفاده از شیرین‌کننده‌های طبیعی جدید و مصنوعی روی بیاورد. این مواد انرژی زیاد تولید نمی‌کنند و برخی از آن‌ها بدون آنکه وارد روند سوخت‌وساز بدن شوند دفع می‌گردند (موحد، ۱۳۹۶). علاوه بر این قندهای الکلی نیز به عنوان جایگزین شکر، حجم دهنده و بافت دهنده به غذاها اضافه می‌شوند و تا حدودی می‌توانند ویژگی‌های ساکارز را تأمین نمایند. همچنین برخی از شیرین‌کننده‌های طبیعی و مصنوعی بسیار شیرین‌تر از شکر (ساکارز) بوده و این شیرینی سبب شده عملکردی مشابه شیرینی شکر در مواد غذایی داشته باشند. شیرین‌کننده‌های قند الکلی کیک شامل منوساکاریدهای قند الکی (سوربیتول، مانیتول، زایلیتول، اریتلیتول)، دی ساکاریدهای قند الکل (لاکتیتول، ایزومالت، مالتیتول)، پلی‌ساکاریدهای قند الکلی (نشاسته هیدرولیز شده) می‌باشد (موحد، ۱۳۹۶).

۲- ژلاتین

ژلاتین یک ماده پروتئینی کلوئیدی و قدیمی‌ترین ماکرومولکولی است که از هیدرولیز کلاژن موجود در پوست، استخوان و بافت پیوندی حیوانات از جمله دام، طیور و آبزیان به دست می‌آید. کلاژن، بخش اصلی بافت پیوندی است که قسمت اعظم پروتئین‌های پوست، رگ‌ها، بافت‌های پیوندی و پروتئین‌های استخوان و غضروف را تشکیل می‌دهد. این مواد در آبجوش و بخار آب گرم، حل‌شده و تولید ژلاتین می‌نمایند. در حالت خشک، حدود ۹۹ – ۹۸ درصد ژلاتین، پروتئین می‌باشد. در کل ژلاتین یک ترکیب غیرهمگن از پروتئین‌های با وزن مولکولی بالا (حدود ۲۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰) می‌باشد. ساختار فنری آمینواسیدهای ژلاتین با باندهای پپتید به هم متصل شده‌اند (سبزیچی اسفهلان، ۱۳۹۳). در محصولات قنادی، عملکرد چندمنظوره ژلاتین به‌عنوان یک ترکیب طبیعی موجب استفاده آن در بسیاری از محصولات غذایی متفاوت شده است. بسته به انتظارات از محصول نهایی، خواص ژلاتین از جمله خاصیت ژلی شدن، کف کنندگی، ایجاد باند، تشکیل فیلم، توانایی اتصال با آب و خاصیت الاستیته می‌تواند مزایای زیادی را برای محصول نهایی ایجاد کند (سبزیچی اسفهلان، ۱۳۹۳).

مزایای استفاده از ژلاتین در صنایع قنادی شامل: پروتئین غیر آلرژیک است. و بر روی مفاصل، ناخن‌ها، مو و پوست تأثیر مثبت دارد. همچنین ژلاتین برای تولید اقتصادی محصولات غذایی باکیفیت بالا کاملاً مناسب است. بعلاوه ماده‌ای بدون طعم و بو در محصول نهایی می‌باشد. باعث عدم چسبندگی محصول نهایی در دهان می‌شود. به علت ذوب شدن کامل در دهان بافت منحصر بفردی را ایجاد می‌کند. در محلول‌های بسیار غلیظ به راحتی حل می‌شود. در تولید انواع محصولات هوادهی و ژلی

شده کاربرد دارد. با بیشتر هیدروکلوئیدها سازگاری دارد به دست آوردن بافت‌های مختلف در صنایع قنادی وابسته به بلوم و دز مصرف ژلاتین می‌باشد. امکان کار کردن مجدد به‌عنوان ژل صد در صد قابل برگشت در فرایند حرارتی را دارا می‌باشد. قابل سازگاری با تجهیزات پخت و پز مدرن می‌باشد (سبزیچی اسفهلان، ۱۳۹۳).

۳- شیرین‌کننده‌ها

شیرین‌کننده‌ها ترکیباتی هستند که عموماً توسط نهادهای نظارتی، به شکل بالقوه جزو پر کاربردترین افزودنی‌های غذایی به علت استفاده‌ی زیاد آن‌ها در محصولات مصرفی در حجم بالا مانند نوشیدنی‌های غیرالکلی و غیره در نظر گرفته می‌شوند که امروزه بسته به نیاز، از انواع مختلف آن‌ها در تولید مواد غذایی استفاده می‌شود. اگرچه برخی حوزه‌های قضایی تمایزی بین افزودنی‌های غذایی طبیعی (Natural)، عیناً طبیعی (Nature-identical) و مصنوعی (Artificial) قائل می‌باشند و مصرف کننده تمایل به مصرف افزودنی‌ها از جمله شیرین‌کننده‌هایی با اصطلاح " طبیعی" را دارد، آژانس‌های نظارتی تمایز آشکاری در الزامات موردنیاز برای ارزیابی توکسیکولوژیک، بین شیرین‌کننده‌های طبیعی و مصنوعی قائل نمی‌باشند (Corti, 1999).

۳-۱- انواع شیرین‌کننده‌ها

دسته بندی‌های متفاوتی در مورد شیرین‌کننده‌ها وجود دارد. به‌طور کلی شیرین‌کننده‌ها را می‌توان در دو گروه کلی طبیعی و مصنوعی یا در چهار گروه، شیرین‌کننده‌های طبیعی، شیرین‌کننده‌های مصنوعی، شیرین‌کننده‌های تصفیه‌شده و الکل‌های قندی طبقه‌بندی کرد. همچنین در یک طبقه‌بندی دیگر، شیرین‌کننده‌ها را می‌توان در دو گروه کلی، شیرین‌کننده‌های کالریک و شیرین‌کننده‌های غیر کالریک (شیرین‌کننده‌های کاهش دهنده کالری دریافتی) طبقه‌بندی کرد که طبقه‌بندی اخیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۱-۱- شیرین‌کننده‌های کالریک

افزایش مصرف نوشیدنی‌های غیرالکلی و نوشیدنی‌های میوه‌ای شیرین شده با شکر، یک تغییر مهم در رژیم غذایی است (Popkin *et al.*, 2003). شیرین‌کننده‌های کالریک، شامل همه‌ی شیرین‌کننده‌های کربوهیدراتی کالریک است و تمام قندهایی که به شکل طبیعی وجود دارند و نشان دهنده بخش مهمی از دریافت انرژی ما هستند را در بر نمی‌گیرد. چندین مطالعه مقطعی نشان داده که حدوداً ۱۶ درصد انرژی برخی گروه‌های جمعیتی را در ایالت متحده، شیرین‌کننده‌های کالریک تأمین کرده و بنابراین نقش بسیار مهمی را در رژیم غذایی ایفا می‌کنند. طبق اعلام سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) نام شیرین‌کننده‌ها شامل محصولاتی است که برای شیرین کردن مورداستفاده قرار گرفته و از هر یک از گیاهان قندی، غلات، میوه‌ها، شیر یا از محصولات تولیدشده بوسیله حشرات

مشتق شده باشند. این گروه شامل طیف گسترده‌ای از مونوساکاریدها (گلوکز و فروکتوز) و دی ساکاریدها (ساکارز) است که هر یک در حالت کریستالیزه به عنوان شکر، یا در فرم مایع به عنوان شربت وجود دارند (Popkin *et al.*, 2003).

از جمله شیرین‌کننده‌های کالریک می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

شکر، شکر و شربت افرا، شربت طلایی، عسل طبیعی و مصنوعی، شربت گلوکز، ایزو گلوکز (شربت ذرت غنی از فروکتوز)، فروکتوز، لاکتوز همچنین شکر به عنوان مهم‌ترین شیرین‌کننده کالریکی که در تهیه کیک به کار می‌رود.

شکر شیرین‌کننده غالب در جهان است. زمانی که شکر اصلی‌ترین شیرین‌کننده در جهان شد، به روشنی مشخص نیست (Popkin *et al.*, 2003). ساکارز یا قند معمولی یک ترکیب آلی، سفید، بدون بو به صورت پودر کریستالی با طعم شیرین و دی ساکاریدی است که از یک مولکول گلوکز و یک مولکول فروکتوز تشکیل شده است. منبع اصلی آن چغندرقند و ساقه نیشکر می‌باشد. میزان ساکارز در این دو به ترتیب و حدوداً ۱۷ و ۱۵ درصد است. ساکارز فاقد احیاکنندگی می‌باشد و معرف فهلینگ را احیا نمی‌کند. به همین جهت است که این قند نمی‌تواند در واکنش میلارد شرکت کند و رنگدانه قهوه‌ای ایجاد نماید. همچنین در معرض پدیده موتاروتاسیون قرار نمی‌گیرد. از طرفی پیوند میان گلوکز و فروکتوز پیوند ضعیفی است و تحت شرایط اسیدی ضعیف یا حرارت بالا شکسته می‌شود و دو منوساکارید مزبور آزاد می‌گردند که در این صورت خاصیت احیاکنندگی خود را باز خواهند یافت. حلالیت ساکارز در آب زیاد است و یکی از خصوصیات مهم آن، تشکیل ترکیبات نامحلول با هیدروکسید کلسیم می‌باشد که این ویژگی اساس تصفیه شکر در کارخانه‌های قند را تشکیل می‌دهد (فاطمی، ۱۳۸۶). ساکارز به عنوان یک کربوهیدرات خالص، محتوای انرژی معادل ۳/۹۴ کیلوکالری به ازای هر گرم تولید می‌کند. وقتی مقادیر زیادی از غذاهای تصفیه‌شده که حاوی درصد زیادی ساکارز هستند مصرف شود، مواد مغذی مفیدی می‌توانند از رژیم غذایی خارج شده که این امر ممکن است منجر به افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن گردد. بیان شده است که محصولات حاوی ساکارز با افزایش چاقی و مقاومت به انسولین در ارتباط است. سرعت ساکارز در بالا بردن گلوکز خون می‌تواند مشکلاتی از جمله آسیب ناشی از متابولیسم معیوب گلوکز مانند افراد دارای هیپوگلیسمی (Hypoglycemia) یا افرادی که از دیابت رنج می‌برند به وجود بیاورد. طبق آمار رسمی، در سال ۲۰۱۱ در جهان حدود ۱۶۸ میلیون تن شکر تولید شده است (Malik and Hu, 2012).

۳-۱-۲- شیرین‌کننده‌های غیرکالریک

این مواد یا اساساً در طبیعت وجود نداشته و از طریق سنتز تهیه می‌شوند و یا آن که وجود دارند اما به عنوان یک ماده شیرین‌کننده معمول و متعارف شناخته‌شده نیستند. در این میان بعضی اصولاً فاقد نقش کالری زایی هستند و یا آن که حداقل

به دلیل میزان شیرینی بسیار زیاد، مقادیر بسیار کمی از آن‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد که از این جهت نقش چندانی در افزودن میزان کالری دریافتی بدن ندارند (فاطمی، ۱۳۸۶).

شیرین‌کننده‌های مصنوعی گروهی از شیرین‌کننده‌های غیرکالریک هستند که امروزه از آن‌ها به شکل گسترده در حوزه‌های مختلف صنایع غذایی استفاده می‌شود. شیرین‌کننده‌های مصنوعی دسته بزرگی از افزودنی‌های باکیفیت بالا و قدرت شیرینی‌زایی شدید هستند که کاربرد آن‌ها را در بسیاری از کالاهای غذایی تسهیل کرده و مصرف سایر قندها را کاهش داده است. بسیاری از آن‌ها پایه سنتتیک، شیمیایی، میکروبی و یا حتی گیاهی دارند و به سبب قدرت انرژی‌زایی محدودشان در مقایسه با شیرین‌کننده‌های متداول مثل قند و شکر، می‌توان از آن‌ها در مواد غذایی مخصوص بیماران دیابتی و یا حتی رژیم‌های لاغری سود جست. از جمله شیرین‌کننده‌های مصنوعی می‌توان به ساخارین (Saccharin)، سیکلامات (Cyclamate)، آسه سولفام پتاسیم (Acesulfame potassium)، آسپارتام (Aspartame) و ... اشاره کرد (رحیمی، ۱۳۹۱). شیرین‌کننده‌های مصنوعی (شیرین‌کننده‌های کم‌کالری) جایگزین‌های شکر هستند، و ممکن است به صورت طبیعی از جمله گیاهان مشتق شده باشند. شیرین‌کننده‌های مصنوعی نیز به عنوان شیرین‌کننده‌های شدید (قوی) شناخته شده‌اند زیرا آن‌ها چندین بار شیرین‌تر از قند عادی هستند. شیرین‌کننده‌های مصنوعی در حال حاضر توسط سازمان غذا و داروی امریکا *(FDA)* تائید شده‌اند (Gupta *et al.*, 2012). سازمان غذا و داروی آمریکا *(FDA)* شیرین‌کننده‌های مصنوعی را به عنوان افزودنی‌های مواد غذایی تنظیم کرده‌اند. افزودنی‌های مواد غذایی می‌بایست توسط *FDA* تائید شده که این در لیست *GRAS* (Generally recognized as safe) مواد افزودنی منتشر شده است. شیرین‌کننده‌های مصنوعی نقش حیاتی در صنعت مواد غذایی مدرن داشته و به‌طور کلی به‌جای شکر در مواد غذایی مانند مشروبات، نوشابه‌های غیرالکلی و محصولات رژیمی استفاده می‌شوند. این مواد افزودنی برای افرادی که تمایل و یا نیاز به کاهش دریافت کالری دارند و نیز در بیماران مبتلابه دیابت که برای آن‌ها محدودیت در مصرف قند وجود دارد، پیشنهاد می‌شود (Pierini *et al.*, 2013).

از جمله شیرین‌کننده‌های مصنوعی پرکاربرد می‌توان به سوکرالوز، ساخارین، سیکلامات، نئوتام، آسه سولفام پتاسیم (*K*)، آسپارتام اشاره کرد:

۳-۱-۳- شیرین‌کننده‌های مصنوعی

در محصولات رژیمی شیرین‌کننده‌های مصنوعی برای رسیدن به اهداف زیر استفاده می‌شوند:

- کاهش کالری: همان‌طور که می‌دانیم هر گرم هیدرات کربن۴ کیلو کالری انرژی تولید می‌کند، در صورتی که میزان انرژی دهی شیرین‌کننده‌های مصنوعی صفر و یا در حد بسیار ناچیز می‌باشد.

- جلوگیری از پوسیدگی دندانها: شکر (ساکارز) یکی از عواملی است که سبب پوسیدگی دندان‌ها می‌شود، در صورتی که شیرین‌کننده‌های مصنوعی بر روی پوسیدگی دندان هیچ‌گونه اثری ندارند.
- قابلیت مصرف برای بیماران دیابتی: شیرین‌کننده‌های مصنوعی هیچ‌گونه اثری بر میزان قند خون نداشته و از این جهت برای بیماران دیابتی هیچ‌گونه عوارضی در برندارند (دامن افشان، ۱۳۹۴).

۳-۱-۳-۱- قندهای الکلی

امروزه مصرف مواد غذایی که باعث کمک به بهبود سلامتی و کاهش ریسک ناشی از بیماری‌های مختلف می‌گردند در مصرف‌کنندگان رو به افزایش می‌باشد. در این میان توجه زیادی به نوع خاصی از کربوهیدرات‌ها به نام کربوهیدرات‌های غیرقابل هضم معطوف شده است. این ترکیبات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فیزیولوژیکی سودمندی برای سلامت مصرف‌کنندگان داشته و به این دلیل مصرف این ترکیبات در حال حاضر رو به افزایش است (Mussatto and Mancilha, 2007). مواد غذایی حاوی قندهای الکلی به علت جایگزین شدن قند توسط قندهای الکلی می‌توانند به عنوان مواد غذایی کم هضم و کم‌کالری معرفی شوند. این ترکیبات به علاوه انرژی کمتر از شکر داشته و دارای مزایای دیگری (کاهش پاسخ گلایسمیک، کاهش اثر خورندگی بر دندان و افزایش اثرات پروبیوتیکی) هستند (Anonymous, 2004). از نظر ساختار شیمیایی قندهای الکلی ممکن است از مونوساکاریدها مشتق شده باشند (مانند سوربیتول، مانیتول، زایلیتول و اریتریتول)، مشتق شده از دی ساکاریدها باشند (مانند ایزومالت، لاکتیتول و مالتیتول) و یا از پلی ساکاریدها مشتق شده باشند (مانند مالتیتول سیروپ و HSH). اگرچه قندهای الکلی به شکل گسترده‌ای در گیاهان وجود دارند، برای مصارف تجاری نیز تولید می‌گردند. قندهای الکلی به علاوه به عنوان ترکیبات ایمن در مواد غذایی شناخته‌شده‌اند. این ترکیبات به شکل ناقص و آرام توسط انتشار در روده جذب می‌شوند اما از طرفی به علت اثر ملین قندهای الکلی مصرف بیش از حد آن‌ها (بیشتر از ۵۰ گرم/ روز سوربیتول، بیشتر از ۲۰ گرم/ روز مانیتول) ممکن است باعث ایجاد اسهال شود. اگر قندهای الکلی به شکل کامل جذب شوند متابولیسم مستقیم آن‌ها در حدود ۴ کیلوکالری بر گرم انرژی تولید می‌کنند. هر چند جذب ناقص قندهای الکلی باعث متابولیسم ناقص این ترکیبات و تخمیر توسط میکروفلور روده می‌شود. FDA در نظر گرفتن قندهای الکلی را به عنوان ترکیبات کم انرژی‌تر نسبت به سایر شیرین‌کننده‌های مغذی مجاز دانسته است (Anonymous, 2004).

علاوه بر این قندهای الکلی سرعت متابولیزه شدن کمی نیز دارند و باعث پایین نگه داشته شدن گلوکز خون در دیابت نوع ۱ و ۲ می‌شوند (Lin *et al.*, 2003; Pasha *et al.*, 2002). علاوه بر پاسخ گلایسمیک کمتر در قندهای الکلی و کربوهیدارت‌های کم جذب، این ترکیبات باعث کاهش اندیس گلایسمیک سایر کربوهیدرات‌ها نیز خواهند شد. این اثر نشان دهنده این واقعیت

است که ویژگی کاهش پاسخ گلایسمیک برای این ترکیبات زمانی که از این ترکیبات به همراه قندهای دیگر استفاده شود از بین نخواهد رفت (Anonymous, 2004).

به‌طور کلی شیرین‌کننده‌های جایگزین ساکارز را می‌توان به دو دسته شیرین‌کننده‌های مغذی و غیرمغذی تقسیم کرد (Bakr, 1997). اغلب قندهای الکلی از جمله سوربیتول (E420)، مانیتول (E421)، ایزومالتوز (E953)، مالتیتول (E965)، لاکتیتول (E966) و زالیتول (E967) جز شیرین‌کننده‌های مغذی به شمار می‌روند (Winkelhausen *et al.*, 2007). شیرین‌کنندگی قندهای الکلی ۱۰۰-۴۰ ٪ ساکارز می‌باشد. قندهای الکلی در طیف وسیعی از محصولات غذایی، از ژله، شکلات و بستنی تا محصولات نانوایی (نظیر کیک) قابل کاربرد هستند (Livesey, 2003).

۳-۱-۳-۲- مالتیتول

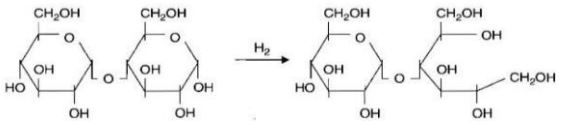
مالتیتول یا مالتوز هیدروژنه شده، یکی از اعضای خانواده شیرین‌کننده‌های پرکننده پلی اول‌ها یا قندهای الکلی می‌باشد. همانند سایر قندهای الکلی (نظیر سوربیتول، مانیتول و زایلیتول) مالتیتول نیز از هیدروژناسیون کاتالیتیک یک پیش‌ساز همانند مالتوز تولید می‌شود. ماده اولیه تولید مالتیتول، نشاسته (عمدتاً نشاسته گندم، ذرت و تاپیوگا) است. برای تولید مالتیتول مسیرهای مختلفی وجود دارد ولی در همه روش‌ها ابتدا نشاسته در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و در حضور آنزیم آلفا آمیلاز مقاوم به حرارت به حالت مایع در می‌آید و سپس حرارت دهی تا دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد برای اطمینان از ژلاتینه شدن کامل نشاسته انجام می‌گیرد. در مرحله بعدی با استفاده از آنزیم‌های بتا آمیلاز و پولولاناز، مالتوز تولید می‌شود و شربتی با ۹۵-۸۵٪ مالتوز تولید می‌شود، سپس با استفاده از کریستالیزاسیون و یا کروماتوگرافی مایع، مالتوز جداسازی می‌گردد و تحت فرایند هیدروژناسیون قرار می‌گیرد و سپس مالتیتول با استفاده از روش کریستالیزاسیون مذاب و یا کریستالیزاسیون آبی جداسازی می‌گردد و باید دارای حداقل ۹۸٪ خلوص باشد. در مورد شربت‌های مالتیتول برای کاربردهای غذایی و دارویی محصول باید حداقل دارای ۵۰٪ مالتیتول بر پایه ماده خشک باشد (Mitchell, 2006). در تولید قندهای الکلی با تغییر گروه‌های آلدئیدی و کتونی قندهای احیاکننده، پلی اول قسمت اعظم ساختار قند، خاصیت حجم دهندگی و عملکرد قند را حفظ می‌کند. در نتیجه این خصوصیات باعث می‌شود تا قندهای الکلی جایگزین‌های مناسبی برای ساکارز باشند (Mitchell, 2006).

جدول ۱- مقایسه ویژگی‌های مالتیتول و ساکارز

Table 1- Comparison of characteristics of maltitol and sucrose

	ساکارز	مالتیتول
وزن ملکولی	۳۴۲	۳۴۴
شیرینی	۱/۰	۰/۹۰
ارزش کالری‌زایی (Kcal/g)	۴/۰	۲/۴
حلالیت (دمای ۲۲°C)	٪۶۷	٪۶۵
نقطه ذوب (°C)	۱۶۸-۱۷۰	۱۴۴-۱۵۲
گرمای انحلال (cal/g)	-۳/۴	-۵/۵
رطوبت نسبی تعادلی برای جذب رطوبت (۲۰°C)	٪۸۴	٪۸۹

ساختار مالتیتول توسط روش‌های رزونانس مغناطیس اتمی و جذب مادون‌قرمز تعیین شده است. مالتیتول (الکل پلی هیدریک) یک دی ساکارید حاوی دو واحد گلوکز است که توسط باندهای آلفا (۱-۴) پیوند یافته‌اند (شکل ۱). ساختار ملکولی دارای ۹ گروه هیدروکسیل است و تمامی این گروه‌ها در پیوندهای هیدروژنی ین ملکولی شرکت می‌کنند.

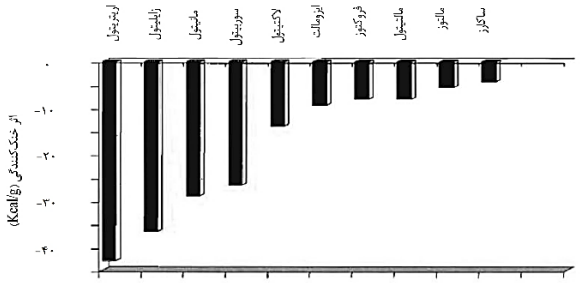


شکل ۱- هیدروژناسیون مالتوز به مالتیتول (Mitchell, 2006)

Figure 1- Hydrogenation of maltose to maltitol (Mitchell, 2006)

۳-۱-۳-۲-۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مالتیتول

اثر خنک‌کنندگی ناشی از انرژی جذب‌شده در طی حل شدن ماده در آب است. مالتیتول دارای اثر خنک‌کنندگی ناچیز در دهان می‌باشد و گرمای انحلال آن به ساکارز نزدیک و کمتر از سایر کربوهیدرات‌ها نظیر زایلیتول، مانیتول، سوربیتول، ایزومالت و دکستروز است (شکل ۲). برای محصولاتی مانند شکلات که اثر خنک‌کنندگی در آن‌ها مطلوب نیست، استفاده از مالتیتول مناسب است. بنابراین در صورت استفاده از پلی اول با اثر خنک‌کنندگی بالا، می‌توان از ترکیب پلی اولی با خاصیت خنک‌کنندگی کم استفاده کرد تا حس خنک‌کنندگی تعدیل گردد.

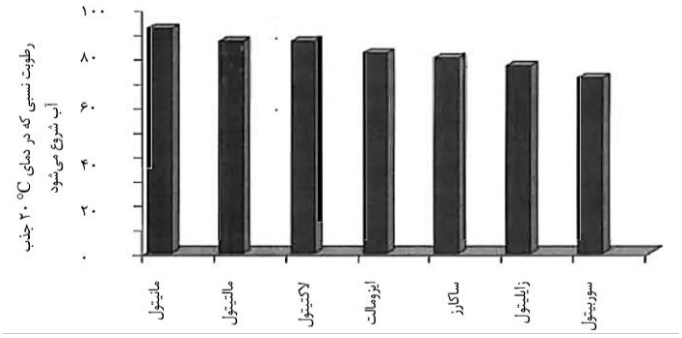


شکل ۲- اثر خنک‌کنندگی پلی اول‌ها (Mitchell, 2006)

Figure 2- Cooling effect of polyols (Mitchell, 2006)

- جذب رطوبت

ویژگی جذب رطوبت ترکیبات غذایی، نقش بسیار مهمی در ماندگاری محصولات غذایی دارد. همچنین نحوه نگهداری ترکیب را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. مالتیتول، در برابر جذب رطوبت از محیط مقاومت مناسبی دارد (شکل ۳). مالتیتول کمترین جذب رطوبت را در پلی اول‌ها به خود اختصاص داده است. در نتیجه در بسیاری از کشورها بدون نیاز به سیستم تهویه هوا قابل انتقال است.

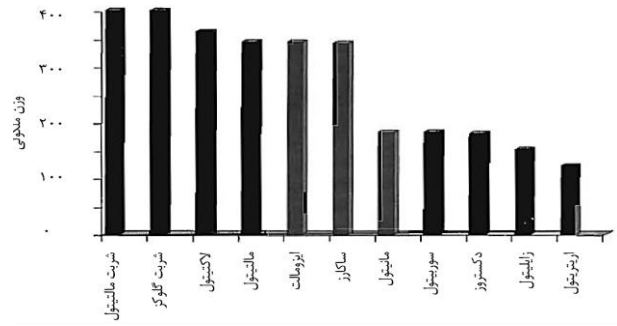


شکل ۳- میزان جذب رطوبت پلی اول‌ها (Mitchell, 2006)

Figure 3- Moisture absorption rate of polyols (Mitchell, 2006)

- وزن ملکولی وزن

مولکولی پودر مالتیتول حدود ۳۴۴ دالتون و شربت مالتیتول در حدود ۶۰۰-۴۰۰ دالتون است (شکل ۴). وزن مولکولی در بافت و عملکرد محصول نهایی نقش مهمی دارد. همچنین در طول فرآوری تعیین کننده ویسکوزیته، دمای تغییر شیشه‌ای و چگونگی سیالیت محصول ذوب شده است. علاوه بر این، در کاهش نقطه انجماد و یا افزایش نقطه‌جوش و میزان فشار اسمزی محصول تأثیر دارد. با توجه به اینکه وزن مولکولی ساکارز ۳۴۲ دالتون و وزن مولکولی متوسط شربت‌های گلوکز با DE بالا در حدود ۲۵۰ دالتون و مالتودکسترین ها، بالاتر از ۱۰۰۰ دالتون است، می‌توان از پودر مالتیتول به عنوان جایگزین ساکارز و شربت مالتیتول به عنوان جایگزین شربت گلوکز استفاده کرد.

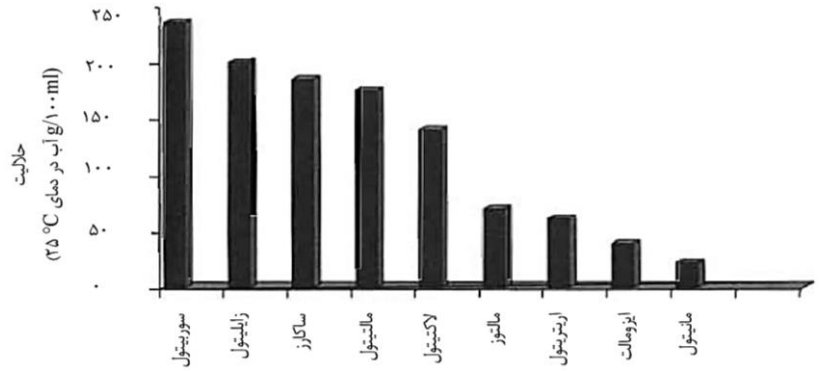


شکل ۴- وزن ملکولی پلی اول‌ها (Mitchell, 2006)

Figure 4- Molecular weight of polyols (Mitchell, 2006)

- حلالیت

حلالیت یعنی مقدار پلی اول که در آب در دمای مشخص حل می‌شود. با افزایش دمای محلول، مواد جامد بیشتری حل‌شده و اگر این محلول خنک گردد ماده حل‌شده، کریستالیزه می‌شود. پلی اول‌هایی نظیر اریتریتول، ایزومالت و مانیتول کمترین حلالیت را دارا هستند (شکل ۵) و سریع کریستالیزه می‌شوند. این قندها برای محصولاتی که نیاز به رطوبت پایین، خاصیت جذب رطوبت اندک و کریستالیزاسیون سریع دارند. مالتیتول، الاکتیتول و زایلیتول دارای حلالیت بالایی بوده و در این ویژگی بسیار شبیه ساکارز هستند. با اینکه هر سه قند الکلی شبیه ساکارز کریستالیزه می‌شوند ولی لاکتیتول بیشترین شباهت را دارد. در فرم کریستالی، مالتیتول و لاکتیتول خاصیت جذب رطوبت کمی دارند ولی زایلیتول تمایل به جذب رطوبت دارد. گرایش به جذب رطوبت در زایلیتول حمل و نقل انبوه آن را اگر به‌طور مناسب انبارداری نگردد، می‌تواند دچار مشکل کند. سوربیتول بیشترین حلالیت را دارا است ولی همانند زایلیتول اگر انبارداری آن مناسب نباشد، می‌تواند کلوخه‌ای شود. بافت و طعم فرآورده‌های قنادی حاوی مالتیتول شبیه به ساکارز است. شربت‌های مالتیتول از نظر حلالیت شبیه به شربت‌های گلوکز هستند و در غلظت حدود ۸۵-۷۵٪ بر پایه ماده خشک، احتمال کریستاله شدن در این شربت‌ها وجود ندارد (Mitchell, 2006).



شکل ۵- حلالیت پلی اول‌ها (Mitchell, 2006)

Figure 5- Solubility of polyols (Mitchell, 2006)

- واکنش‌پذیری شیمیایی

از نظر واکنش شیمیایی، مالتیتول نیز همانند سایر قندهای الکلی در واکنش مایلارد شرکت نمی‌کند. مالتیتول در تولید برخی محصولات مفید است ولی مثلاً در تولید کارامل یک عیب محسوب می‌شود و باید رنگ و طعم کارامل به کارامل‌های بدون قند اضافه شود. شیرینی مالتیتول ۹۵-۸۵٪ ساکارز است و پس از زایلیتول، شیرین‌کننده‌ترین پلی اول می‌باشد. همچنین هنگام استفاده از مالتیتول، نیازی به شیرین‌کننده‌های سنتزی نیست. خواص فیزیولوژیکی مالتیتول در کشورهای اروپایی و آمریکا، غذاهای با کالری کاهش‌یافته به غذاهایی اطلاق می‌شود که به ترتیب ۳۰ و ۲۵ درصد کالری کمتری نسبت به محصول مشابه داشته باشند و غذاهای کم‌کالری نباید بیشتر از ۴۰ kcal/۱۰۰g کالری ایجاد کنند. مالتیتول و شربت‌های مالتیتول برای تولید

غذاهای کم‌کالری استفاده می‌شوند و تولید این نوع غذاها در مورد فرآورده‌های قنادی آسان است ولی در غذاهایی که حاوی مقدار بالای چربی و پروتئین هستند، استفاده از این قندها، دشوار است. همچنین مالتیتول می‌تواند در جلوگیری از فساد دندان مؤثر باشد. مالتیتول و شربت مالتیتول در مسیری متفاوت از مسیر متابولیسم قندهای رایج در بدن متابولیزه می‌شوند. بنابراین باعث کاهش قند خون و سطح پاسخ انسولین بعد از جذب می‌شوند و میزان کالری کمتری نیز تولید می‌کنند. مالتیتول و شربت مالتیتول دارای پاسخ گلایسمیک پایینی هستند. پلی اول‌های مختلف توسط مسیرهای متفاوتی هضم می‌شوند هر چند شباهت‌هایی وجود دارد که در نهایت برخی از آن‌ها دارای کالری مشابهی خواهند بود. مقدار کالری کم در مقایسه با ساکارز به علت جذب نسبتاً کم در روده کوچک است. هر چند برخی از پلی اول‌ها هیدرولیز یا جذب می‌شوند ولی در نهایت وارد روده بزرگ شده و در آنجا به اسیدهای چرب فرار تخمیر می‌شوند، سپس توسط بدن جذب‌شده و در حدود kcal/g ۲ کالری تولید می‌کنند (Mitchell, 2006).

- کاربرد مالتیتول

مالتیتول ویژگی‌های فراوانی دارد که باعث کاربرد آن در بسیاری از محصولات غذایی می‌شود. این ویژگی‌ها عبارتند از: پودر کریستالی سفید، پروفیل شیرینی مشابه ساکارز، دارای کالری کم، شیرینی حجم دهنده، عدم ایجاد پوسیدگی دندان، عدم وابستگی جذب آن به انسولین و بنابراین در غذای رژیمی دیابتی‌ها قابل‌استفاده است (Mitchell, 2006).

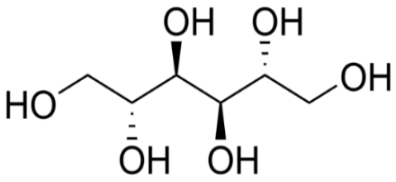
۳-۱-۳-۳- مانیتول

مانیتول نوعی قند الکلی است که بیشتر مصارف دارویی داشته و اغلب به عنوان شیرین‌کننده در غذاها برای بیماران دیابتی استفاده می‌شود. مانیتول از نظر ظاهری به صورت کریستال بوده و از نظر فیزیکی جامد است. این ماده محلول در آب، پیریدین و گلیسرول است و دارای نقطه ذوب ۱۷۰-۱۶۷ درجه سانتی‌گراد و نقطه‌جوش ۲۹۵-۲۹۰ درجه سانتی‌گراد است مانیتول شیرین‌کننده قند الکلی می‌باشد که انرژی موجود در آن ۱/۶ کیلوکالری بر گرم می‌باشد. همچنین ۵۰ الی ۷۰ درصد شیرین‌تر از ساکارز است و در بعضی افراد با یک‌بار استفاده حالت ملین ایجاد می‌کند (Ellis and Krantz, 2017). مانیتول در مایع خارج سلولی باقی می‌ماند و موجب افزایش فشار اسموتیک پلاسما (یا ادرار) می‌شود در نتیجه موجب افزایش جریان آب از بافت‌ها به داخل مایع میان بافتی می‌شود مانیتول از دیدگاه فارماکولوژی در گروه اسموتیک دیورتیک‌ها قرار می‌گیرد. کاربرد انفوزیون این دارو در کنترل افزایش فشار خون داخل جمجمه همراه با آدم مغزی، افزایش فشار داخل کره چشم، تحریک ترشح ادراری مواد توکسیک مورد تائید است (Kearsley and Deis, 2006). مانیتول جز اولین دسته از قندهای مورداستفاده در غذاهای بدون قند (ساکارز) می‌باشد. محصولات قنادی تهیه شده از مانیتول دارای اندیس گلایسمیک پائینی بوده و از این نظر مطابق با رژیم‌های غذایی مدرن است. مانیتول به نسبت ساکارز کمتر باعث افزایش قند خون می‌شود به همین دلیل به عنوان یک شیرین‌کننده

برای افراد مبتلا به دیابت استفاده می‌شود زیرا نیازی به انسولین برای متابولیزه شدن ندارند. کالری زایی مانیتول از کالری تولیدی توسط ساکارز کمتر است، بنابراین، این قند قابل‌استفاده در تهیه غذاهای کم‌کالری می‌باشد (Mitchell, 2008).

- کاربردهای مانیتول در صنایع مختلف

- در صنایع دارویی مانیتول تزریقی به عنوان داروی کمکی برای درمان فشار مغزی، فشار داخل چشم، فشار خون، درمان تصلب شرایین، تب مغزی و درمان بیماران دیابتی استفاده می‌شود. مانیتول همچنین به عنوان مواد جانبی برای ساخت محصولات دارویی به کار می‌رود.
- در میکروبیولوژی مانیتول محیط کشت مناسبی به عنوان ماده اولیه تولید اسید چرب ترکیبی حاوی مانیتول، Manitol-PPG و مونواستارات به کار می‌رود.
- در صنایع غذایی مانیتول یک افزودنی مواد غذایی محسوب می‌شود.
- در سایر صنایع مانیتول به عنوان تثبیت کننده و ماده امولسیفایر استفاده می‌شود که کاربرد فراوانی از جمله در صنایع کشاورزی و نساجی دارد (Brightling, 2008).



شکل ۶- ساختار شیمیایی مانیتول (Mitchell, 2006)

Figure 6- Chemical structure of mannitol (Mitchell, 2006)

- کاربردهای مانیتول در صنایع غذایی

مانیتول به عنوان یک پلاستی سایزر (پوشش‌های خوراکی) در آدامس‌های جویدنی، برای جلوگیری از چسبندگی به بسته‌بندی استفاده می‌شود. از آنجایی که مانیتول دارای گرمای مثبت محلول است، آن را به عنوان یک شیرین‌کننده در آب‌نبات استفاده می‌کنند (Hao *et al*., 2016).

- استخراج مانیتول

مانیتول به میزان قابل توجهی در ریشه درختان و درخچه‌ها مانند درخت زیتون، در جلبک‌های دریایی به‌ویژه علف‌های هرز قهوه‌ای یافت می‌شود (Kirk & Othmer, 2007).

۴- نتیجه‌گیری

مصرف انواع فرآورده‌های شیرین، به شکل‌های مختلف یکی از عادات تغذیه‌ای روزمره افراد در سراسر جهان بشمار می‌رود. ساکارز از اجزاء اصلی فرمولاسیون فرآورده‌های شیرین است که علاوه بر ایجاد طعم، به عنوان عامل حجم دهنده در تشکیل بافت محصول نقش دارد. در عین حال مصرف این قند با محدودیت‌هایی همراه است که از آن جمله می‌توان به افزایش ناگهانی و نامطلوب قندخون، چاقی و افزایش و تسریع در پوسیدگی دندان اشاره کرد. همین امر باعث ایجاد جایگزینی ساکارز با شیرین کننده‌های کم کالری می‌شود. مالتیتول یک شیرین‌کننده کم‌کالری حاصل از هیدروژناسیون مالتوز بوده و جایگزینی سیروپ ساکارز با این قند، باعث کاهش کالری محصول خواهد شد .مالتیتول و پلی گلیسرول به دلیل داشتن محدوده وسیعی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شانس زیادی برای استفاده در فرمولاسیون محصولات غذایی جدید دارند. مانیتول یک قند الکلی با کاربرد دارویی است. کالری زایی مانیتول از کالری تولیدی توسط ساکارز کمتر است، بنابراین، این قند قابل‌استفاده در تهیه غذاهای کم‌کالری می‌باشد. موارد استفاده از این ترکیب در تهیه صمغ‌های خوراکی، شکلات‌های سخت، قرص‌های خوراکی، سوسیس پخته‌شده (بهبود طعم و ممانعت از سوختن در حین پخت)، شکلات و محصولات نانوایی و همچنین به‌عنوان پوششی برای آب‌نبات‌های سخت و به دلیل داشتن طعم دلپذیر و طعم دهانی مطلوب برای قرص‌های جویدنی استفاده می‌شود.

۵- سپاسگزاری

با سپاس و تقدیم به گل‌های یاس بهشت آرزوهایم پدر، مادر و برادر عزیزم که عطرشان پایدار و مهرشان ستونی است.

منابع: References

- **بی‌نام، ۱۳۸۵.** مربا، مارمالاد و ژله مربا- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون میکروبیولوژی. سازمان ملی استاندارد ایران، استاندارد ۸۸۹۸.
- **بی‌نام، ۱۳۹۳.** مربا، مارمالاد و ژله مربا- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. سازمان ملی استاندارد ایران، استاندارد ۲۱۴.
- **بی‌نام، ۱۳۹۵.** فرآورده‌های ژله‌ای- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. سازمان ملی استاندارد ایران، استاندارد ۲۶۸۲.
- **دامن افشان، ب.، صالحی فر، م.، غیاثی طرزی، ب. و با خدا، ح. ۱۳۹۴.** بررسی تأثیر اینولین بر خصوصیات کیفی کیک روغنی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی ۴۸-۴۱ :(۱۲)۴۶.
- **رحیمی، س. ۱۳۹۱.** انواع شیرین‌کننده‌های مصنوعی. ماهنامه سنبله ۱۹-۱ :(۲۱۸)۲۵.
- **سبزیچی اسفهلان، ع. ۱۳۹۳.** تولید ژله میوه‌ای سین‌بیوتیک با استفاده از لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس و فروکتوالیگوساکارید. پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تبریز، پردیس بین المللی ارس.

- **شکوهی طرقی، ف. ۱۳۹۲.** بررسی تأثیر استویا به‌عنوان یک شیرین‌کننده طبیعی گیاهی در محصولات پودری بدون قند. *بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی*، شیراز، دانشگاه شیراز.
- **فاطمی. ح. ۱۳۸۱.** شیمی مواد غذایی. انتشارات شرکت سهامی، صفحه ۴۸۰.
- **کریمی، ف. و حسینی قابوس، س. ح. ۱۳۹۷.** بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی پودر ژله حاوی پودر کدو حلوایی. مجله علوم و صنایع غذایی ۳۲۸-۳۱۹ :(۱۵)۷۶.
- **وطن خواه، م.، الهامی راد، الف.، یقبانی، م.، نادیان، ن. و اکبریان میمند، م. ج. ۱۳۹۳.** بررسی امکان تولید بیسکوئیت رژیمی با استفاده از شیرین‌کننده استویوزید. نشریه نوآوری در علوم و صنایع غذایی ۱۷۰-۱۵۷ :(۲)۳.
- **Anonymous. 2004.** Nutrition principles and recommendations in diabetes. Diabetes Care. 27: 36-44.
- **Curi, P. N., Carvalho, C. dos S., Salgado, D. L., Pio, R., Pasqual, M., Sousa, F. B. M. de and Sousa, V. R. de. 2017.** Influence of different types of sugars in physalis jellies. Food Science and Technology 37(3): 349–355.
- **Gómez, M., González, J. and Oliete, B. 2012.** Effect of extruded wheat germ on dough rheology and bread quality. Food and Bioprocess Technology 5: 2409–2418.
- **Gupta, S., Mahajan, V., Mahajan, S. and Tandon, V. R. 2012.** Artificial Sweeteners. JK SCIENCE Journal 14(1): 1-3.
- **Kamoi, M., Shimiza, Y., Kawauchi, V., Fuji, Y., Kikuchi, Y., Mizukawa, S., Yoshioka, H. and Kibata, M. 1975.** A study on the metabolism of maltitol (clinical study). Journal of the Japan Diabetes Society 18:451.
- **Majzoobi, M., Darabzadeh, N. and Farahnaky, A. 2012.** Effects of percentage and particle size of wheat germ on some properties of batter and cake. Journal of Agricultural Science and Technology 14: 827-836.
- **Mitchell, H. 2006.** Sweeteners and Sugar Alternatives In Food Technology. Blackwell Publishing Ltd. pp. 150-320.
- **Winkelhausen, E., Jovanovic-Malinovska, R., Velickova, E. and Kuzmanova, S. 2007.** Sensory and microbiological quality of a baked product containing xylitol as an alternative sweetener. International Journal of Food Properties 10(3): 639-649.
- **Ziesentiz, S.C. and Siebert, S.C. 1987.** Polyols and other bulk sweeteners. In: TH Grenby (ed.). Developments in Sweeteners-3. London and New York: Elsevier-Applied Science Publishers. pp. 109-149.

A review of sugar substitutes: mannitol and maltitol

Mandana Zormand[3] , Shila Berenji [4]

Received:2022/11/01 **Accepted: 2023/05/04**

ABSTRACT

Nowadays, an increasing trend is observed in the consumption of food that helps to improve health and reduce the risk of various diseases in consumers, in the meantime, a special type of carbohydrates called non-digestible carbohydrates (The major types of non-digestible carbohydrates include non-starch polysaccharides (such as cellulose, pectin, and hemicellulose), resistant starch, and non-digestible oligosaccharides (such as fructo-oligosaccharide and xylo-oligosaccharide)) has attracted a lot of attention. The consumption of these compounds is currently increasing due to their beneficial physicochemical and physiological characteristics for the health of consumers. Carbohydrates are divided into monosaccharides, oligosaccharides or polysaccharides based on molecular weight or degree of polymerization (number of constituent monosaccharides) .In general, sucrose substitute sweeteners can be divided into two categories: nutritious and non-nutritive sweeteners. Most sugar alcohols are considered nutritious sweeteners, including sorbitol (E420), mannitol (E421), isomaltose (E953), maltitol (E965), lactitol (E966) and xylitol (E967). The sweetness of sugar alcohols varies from 40-100% sucrose .Sugar alcohols are widely used in food products such as: jelly, chocolate and ice cream to bakery products. Recently, researchers have conducted several researches to investigate the production of jellies with different flavors and different formulations, including the production of low-calorie jellies. Substituting maltitol and mannitol instead of sugar had no significant effect on pH, acidity, dissolved solids (Degrees Brix) and moisture, and had a significant effect on syneresis, total sugar and tissue hardness.

Keywords: sucrose, jelly, maltitol, mannitol

[3] Ph.D. student in Food Industry Engineering, Food Technology Field of Study, Islamic Azad University, Varamin-Pishva Branch

[4] Assistant Professor, Department of Food Industries, Food Technology Field of Study, Islamic Azad University, Varamin-Pishva Branch

Corresponding Author: mandana.zorman@gmail.com