



مروری بر شیرین کننده مصنوعی آسپارتام

علیرضا جهانبانی: دانشجو دکتری بیوشیمی، بخش بیوشیمی، گروه علوم پایه، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شیراز، شیراز ایران (*نویسنده مسئول) ajahanbani@shirazu.ac.ir
سید محمد سجادی دزفولی: دستیار تخصصی جراحی دامپزشکی، گروه علوم درمانگاهی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

چکیده

کلیدواژه‌ها

آسپارتام،
شیرین کننده سنتزی،
بیماری‌ها

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۲۲

آسپارتام به عنوان یک شیرین کننده سنتزی، دی پپتیدی است که از فنیل آلانین و آسپاراتات تشکیل شده است. این ماده ۱۸۰ تا ۲۰۰ بار شیرین تر از شکر است که به دو روش آنزیمی و غیر آنزیمی ساخته می‌شود و اولین بار تصادفی در سال ۱۹۶۵ کشف شده است. قدرت شیرین کنندگی بالا و کالری کم آسپارتام باعث شد که از طرف صنایع غذایی به عنوان جایگزین مناسب شکر در مواد غذایی شیرین مانند انواع نوشیدنی‌ها و شیرینی‌ها برای افراد مبتلا به بیماری‌های مرتبط با هومئوستاز گلوکز معرفی شود. برخی پژوهش‌ها در سال‌های گذشته آسپارتام را عامل ایجاد کننده استرس اکسیداتیو، سندروم متابولیک، بیماری‌های دستگاه عصبی، تغییردهنده میکروفلور دستگاه گوارش و عوارض ناشی از این تغییر و حتی سرطان دانسته‌اند. از طرف دیگر مطالعات گسترده‌ای همچنان آسپارتام را ماده‌ای بی‌خطر و جایگزین مناسب شکر برای جلوگیری از ابتلاء به بیماری‌هایی مانند چاقی، دیابت و کاهش دهنده وزن می‌دانند. باوجود این مطالعات ضدو نقیض، سازمان‌های مرتبط با ایمنی مواد غذایی مانند (FDA، FAO و EFSA) همچنان مصرف آسپارتام را در حد میزان مصرف قابل قبول روزانه (DAI)، برای همه افراد به استثناء افراد مبتلا به بیماری فنیل کتونوریا مجاز می‌دانند.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: حامی مالی نداشته است.

شیوه استناد به این مقاله:

Jahanbani A, Sajjadi Dezfouli SM. Review of artificial aspartame sweetener. Razi J Med Sci. 2019;26(7):33-56.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با [CC BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/) صورت گرفته است.

Review of artificial aspartame sweetener

- Alireza Jahanbani, PhD Student, Department of Biochemistry, Veterinary School, Shiraz University, Shiraz, Iran (*Corresponding author) ajahanbani@shirazu.ac.ir
Seyed Mohamad Ajjadi Dezfouli, DVM, Research Club and Young Garmsar Branch, Islamic Azad university, Garmsar Bbranch, Garmsar, Iran

Abstract

Aspartame as a synthetic sweetener is a dipeptide composed of aspartic acid and phenylalanine. It is 180 -200 times more sweetener than sucrose, which is made by two enzymatic and non-enzymatic methods and was first discovered randomly in 1965. The high sweetening power and low calorie of aspartame was prompted food industry that it used as a good alternative compared to sugar in sweet foods such as all types of beverages and sweets for people with diseases that associated with glucose homeostasis.

In several years ago, some studies have shown that aspartame has been considered as a reason for induction of oxidative stress, metabolic syndrome, nervous system diseases, modifier of gastrointestinal microflora, and complications that related to these and even cancer. While, in the other studies, aspartame is still considered as a safe compound and an alternative compared to sugar for prevention of diseases such as obesity, diabetes and weight loss.

Despite of contradictory studies, food safety organizations such as the FDA, the FAO, and the EFSA, are still authorizing daily use of aspartame at an acceptable daily intake (DAI) for all individuals with the exception of people with phenylketonuria disease.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Aspartame,
Synthetic sweetener,
Diseases

Received: 11/05/2019

Accepted: 13/08/2019

Cite this article as:

Jahanbani A, Sajjadi Dezfouli SM. Review of artificial aspartame sweetener. Razi J Med Sci. 2019;26(7):33-56.

*This work is published under [CC BY-NC-SA 3.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/).

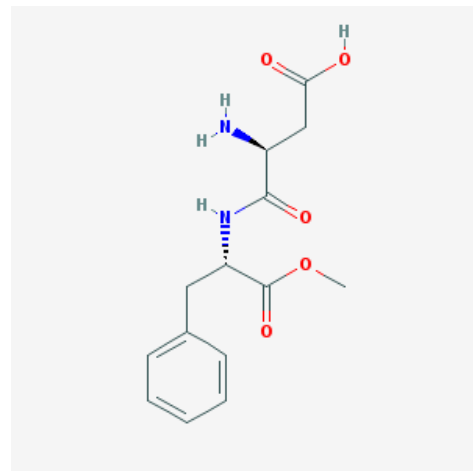
به شرایط دمایی و اسیدی نیز بستگی دارد. بیشترین میزان حلالیت آسپارتام در آب، در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و $pH = ۲/۲$ ؛ و کمترین میزان حلالیت آن در آب در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و در $pHi = ۵/۲$ (یا pH ایزوالکتریک آسپارتام)، گزارش شده است. به طور کلی آسپارتام در شرایط یکسان دمایی، در حلال‌های اسیدی و در شرایط ثابت اسیدی، در آب گرم‌تر حلالیت بیشتری دارد. پودر آسپارتام به راحتی در الکل‌ها مانند اتانول و نیز کلروفرم حل می‌شود ولی در روغن‌ها عملاً حل نمی‌گردد (۱ و ۲). از آسپارتام در حضور رطوبت Aspartylphenylalanine و ترکیب دیگری به نام Diketopiperazine مشتق می‌شود که در نتیجه قدرت شیرین‌کنندگی آن کاهش می‌یابد. دی‌کتوپپیرازین دارای خواص سرطان‌زایی بوده و در بافت مغز می‌تواند سبب ایجاد تومور با منشأ سلول‌های آستروسیت (سلول‌های تغذیه‌کننده نورون‌ها) گردد (۳).

آسپارتام در شرایط خشک پایدارتر است. برای افزایش پایداری محلول آسپارتام، می‌توان «سیکلوکودکسترین» به همراه «پلی اتیلن گلیکول ۴۰۰» به آن اضافه کرد و محلول را در $pH = ۲$ برای مدت طولانی نگهداری نمود. آسپارتام اگر مدت طولانی در مجاورت گرما قرار گیرد تجزیه خواهد شد. برای ایجاد بهترین شرایط نگهداری آسپارتام محلول در حلال آبی در دمای اتاق، باید pH بین ۴ تا ۵ را فراهم کرد، در این شرایط، نیمه عمر آسپارتام به بیش از ۸ ماه خواهد رسید. با توجه به این نکته که آسپارتام در درجه حرارت بالا تجزیه می‌گردد، نمی‌توان از آن در تهیه مواد غذایی که طی فرآیند تولید آنها از حرارت بالا استفاده می‌شود و یا می‌بایست آن ماده غذایی را استرلیزه کرد استفاده نمود. آسپارتام تنها برای مدت کوتاهی می‌تواند حرارت بالا را تحمل کند. البته بعد از فرآیند پخت و یا استرلیزاسیون می‌توان آسپارتام را به مواد غذایی اضافه کرد. به هنگام تجزیه آسپارتام در دمای بالا، گازهای سمی «نیتروکسیدها» آزاد می‌شوند. آسپارتام محلول اگر مدتی طولانی در مجاورت نور قرار گیرد نیز تجزیه

آسپارتام نام یک شیرین‌کننده مصنوعی غیرکربوهیدراتی با نام علمی «آسپارتیل فنیل آلانین-۱-متیل استر» است. این دی‌پپتید در حقیقت از ترکیب دو اسیدآمینه آسپارات و فنیل‌آلانین ساخته شده است؛ فرمول مولکولی آن $(C_{14}H_{18}N_2O_5)$ است و جرم مولی آن نیز برابر با $g/mol ۲۹۴/۳۰۷$ است. $3S$ -3-amino-4-[[[(2S)-1-methoxy-1-oxo-3-phenylpropan-2-yl]amino]-4-oxobutanoic acid نام شیمیایی یا IUPAC Name آسپارتام می‌باشد. شکل ۱ ساختار شیمیایی مولکول آسپارتام را نشان می‌دهد (۱).

خواص فیزیکی و شیمیایی

آسپارتام یک پودر کریستالی جامد، سفید رنگ و بدون عطر یا بوی خاص می‌باشد. قدرت شیرین‌کنندگی آن ۱۸۰ تا ۲۰۰ برابر ساکاروز بوده و بر خلاف برخی دیگر از شیرین‌کننده‌های مصنوعی، فاقد مزه فلزی است و این موضوع برای آسپارتام یک امتیاز محسوب می‌گردد؛ به عنوان مثال «آسه سولفات پتاسیم» اگر چه از نظر اقتصادی نسبت به آسپارتام ارزان‌تر است اما، طعم فلزی آسه سولفات پتاسیم، استفاده از آن را محدود می‌نماید. دمای ذوب آسپارتام $۲۴۶/۵$ درجه سانتیگراد است. این ماده به راحتی در آب حل می‌شود و محلولی همگن و بی‌رنگ ایجاد می‌کند. البته میزان حلالیت آن در آب،



شکل ۱- ساختمان شیمیایی آسپارتام (۱)

سازمان‌های ملی و بین‌المللی نیز از جمله کمیته FAO WHO // JECFA) و در سطح اتحادیه اروپا توسط کمیته علمی مواد غذایی مورد بررسی و بازرنگری قرار گرفت. آسپارتام توسط دستورالعمل EC ۳۵/۹۴ / پارلمان اروپا درباره شیرین‌کننده‌ها برای استفاده در مواد غذایی در تاریخ ۳۰ ژوئن ۱۹۹۴ مجوز گرفت و مجاز اعلام شد که کد افزوده آن E951 است (۷-۱).

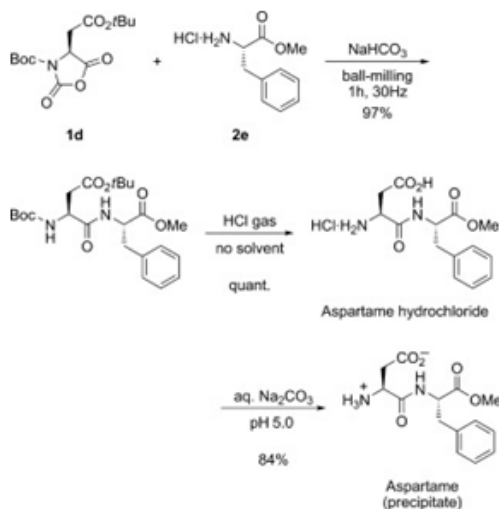
در سال ۱۹۸۰ میزان مصرف قابل قبول روزانه (ADI: Acceptable Daily Intake) آسپارتام برای انسان بالغ توسط Joint Expert Committee on Food Additives (JECFA) ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن (برابر با ۶۹ قوطی نوشابه رژیمی) در روز اعلام گردید. این عدد در آخرین بازرنگری در سال ۲۰۱۶؛ هم‌چنان مورد تایید قرار گرفت. اما FDA تا مقدار ۵۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن را تایید کرده است. هم‌اکنون استفاده از آسپارتام در بیش از ۹۰ کشور جهان با نظر گرفتن همین اعداد به عنوان استاندارد مصرف قابل قبول روزانه، مجاز است. در ماه فوریه سال ۲۰۰۱، به پیشنهاد Eric Walters استاد دانشگاه شیکاگو آمریکا، آسپارتام ملکول ماه نام گرفت. با توجه به افزایش روند چاقی در کشورهای توسعه یافته و افزایش میزان مبتلایان به بیماری دیابت که تقریباً هم‌زمان با کشف و معرفی آسپارتام است، از این شیرین‌کننده مصنوعی در تهیه مواد غذایی بسیاری (بیش از ۶۰۰۰ نوع ماده غذایی) استفاده شد که عمده آنها نوشیدنی‌های شیرین مانند انواع نوشابه‌ها، آب‌میوه‌ها و دیگر محصولات غذایی مانند انواع دسر، آدامس، مواد غذایی لبنی خشک شده، انواع ماست‌های طعم‌دار و غیره می‌باشند (۲ و ۷).

همان‌گونه که ذکر شد، از آنجا که آسپارتام به حرارت بالا حساس است و تنها مدت زمان بسیار کمی می‌تواند حرارت بالا را تحمل کند، بنابراین بیشترین کاربرد آن در نوشیدنی‌ها و دسرهای سرد است. شرکت‌های تولیدکننده مواد غذایی که با تبلیغات زیاد آسپارتام را جایگزینی مناسب برای شکر معرفی کردند با استفاده از آن سود بسیاری بدست آوردند. بسیاری از شرکت‌های داروسازی نیز از آسپارتام به عنوان شیرین‌کننده در محصولات خود، خصوصاً داروهای اطفال به شکل گسترده استفاده می‌کنند. آسپارتام با

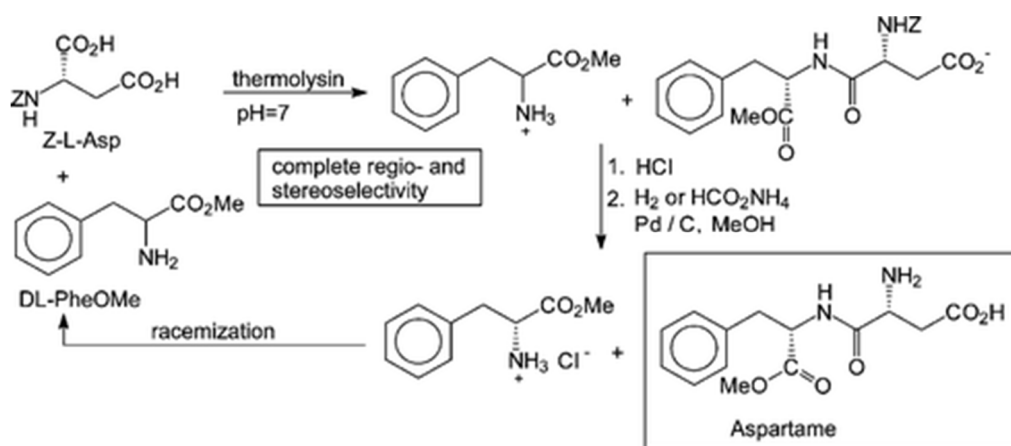
می‌گردد که مقدار این فروپاشی با pH محلول رابطه دارد؛ به‌گونه‌ای که در شرایط نوری یکسان (Lux)، آسپارتام محلول در pH = ۴ نسبت به pH = ۷ چندین برابر ماندگاری بیشتر دارد. بنابراین پایداری آسپارتام حل شده به شرایطی بستگی دارد، که در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد یا انبارداری می‌شود و تابعی از سه فاکتور اولیه زمان، pH و دما است. به عنوان مثال pH بستنی خارج از محدوده پایداری آسپارتام است، ولی به این دلیل که بستنی منجمد است و سرعت تجزیه آسپارتام را بسیار کند می‌کند، می‌توان از این ماده در بستنی استفاده کرد. هر گرم از آسپارتام بعد از متابولیسم شدن، ۴ کیلوکالری انرژی تولید می‌کند؛ که این مقدار برابر با ۱۷ کیلو ژل در هر گرم است (۴ و ۵).

تاریخچه

استفاده اصلی آسپارتام در صنایع غذایی می‌باشد. آسپارتام یک شیرین‌کننده قوی است که ۱۸۰ تا ۲۰۰ برابر ساکاروز قدرت شیرین‌کنندگی دارد. هر گرم آسپارتام ۴ کیلوکالری و هر گرم شکر ۳/۹ کیلوکالری انرژی تولید می‌کنند؛ اما از آنجایی که قدرت طعم شیرینی آسپارتام حداقل ۱۸۰ تا ۲۰۰ برابر بیشتر از شکر است، بنابراین میزان استفاده از آسپارتام بسیار کمتر خواهد بود (۲۰۰ بار کمتر از شکر) و به این دلیل در مقایسه با شکر کالری بسیار اندکی دارد. به همین واسطه بعد از کشف آسپارتام در سال ۱۹۶۵ توسط شیمی‌دان آمریکایی به نام Jim Schlatter به سرعت از سوی صنایع غذایی مورد استقبال قرار گرفت. آسپارتام به صورت کاملاً تصادفی کشف شد. زمانی که Jim Schlatter به دنبال راهی برای درمان زخم معده بود، در یکی از مراحل ساخت تتراپتیدی که به این منظور طراحی کرده بود، به صورت تصادفی متوجه دی‌پپتیدی گشت که قدرت شیرین‌کنندگی بسیار بالایی داشت. مجوز اولیه (MA) برای استفاده از آسپارتام در صنایع غذایی در سال ۱۹۷۴ توسط اداره غذا و داروی آمریکا (FDA) در ایالات متحده اعطا شد. بعدها با توجه به تحقیقات جدیدی که بر روی آسپارتام انجام شده بود، FDA چندین بار به ترتیب در سال‌های ۱۹۸۱، ۱۹۸۳، و ۱۹۹۶ مجوز اولیه خود را مورد بازرنگری قرار داد و آن را به عنوان یک شیرین‌کننده عمومی با ذکر ملاحظات اعلام کرد. ایمنی آسپارتام توسط تعدادی از دیگر



شکل ۲- روش غیر آنزیمی تولید آسپارتام (۱۴)



شکل ۳- روش آنزیمی تولید آسپارتام (۱۰)

جهت عملکرد بهتر آنزیم موثر است (۸). آنزیم ترمولیزین از دسته متالوپروتئازها بوده و از باکتری *Bacillus thermoproteolyticus* استخراج می‌شود. علاوه بر این آنزیم که کاربرد گسترده‌تری دارد؛ آنزیمی دیگر به نام آسپارتام‌هیروولیزینگ با نام تجاری Rulactine که از باکتری *Microoccus caseolyticus* بدست می‌آید نیز در تولید آسپارتام استفاده می‌شود. آنزیم "Rulactine" را نسبت به ترمولیزین به سبب کاهش تعداد مراحل آماده سازی و تولید، بهتر ارزیابی می‌کنند (۹). آنزیم PST-01، آنزیم دیگری است که از باکتری *Pseudomonas aeruginosa* بدست می‌آید و می‌تواند با راندمان بالاتری آسپارتام را تولید کند (۱۰). در مطالعه‌ای آنزیم مشابه دیگری به نام PT-121

نام‌های تجاری متفاوتی از جمله Nutrasweet، Equal، Candere و Goldswite در بازار وجود دارد.

روش تولید آسپارتام

آسپارتام به دو روش شیمیایی (غیر آنزیمی) و آنزیمی تولید می‌گردد (شکل‌های ۳ و ۲). در روش آنزیمی دو ترکیب N-(benzyloxycarbonyl)-L-aspartic acid ترکیب (Z-L-Asp) و L-phenylalanine methyl ester (PM) به عنوان پیش ماده توسط آنزیم ترمولیزین در شرایط مشخص شده به آسپارتام از نوع Z-AMP تبدیل می‌گردند. این واکنش آنزیمی در pH = ۶/۵ و دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در بافر 2-N-morpholino ethanesulfonic acid که به بافر MES/NaOH معروف است، انجام می‌شود. حضور کلرید کلسیم در بافر

متابولیسم آسپارتام در میمون‌ها بیشتر از انسان است. بعد از مصرف خوراکی آسپارتام، این ماده در داخل دستگاه گوارش توسط استرازاها و پپتیدازها که احتمالاً کیموتریپسین می‌باشد به اسیدهای آمینه سازنده خود (اسیدآسپارتیک و فنیل‌آلانین) و الکل متانول هیدرولیز می‌گردد (شکل ۴) (۱۵).

البته Nelia A و همکارانش در سال ۱۹۸۶ مشخص‌تر آنزیم‌های هیدرولیزکننده آسپارتام را گزارش کردند. طبق این مطالعه ۴۴ درصد از آسپارتامی که در محیط داخلی روده هیدرولیز می‌گردد توسط آنزیم آمینوپپتیداز A و ۳۰ درصد توسط آنزیم گلاپسین-لوسین پپتیداز، ۲۱ درصد توسط آنزیم آسپارتات-لیزین پپتیداز وابسته به Zn^{2+} و ۵ درصد نیز توسط آنزیم آمینو پپتیداز N تجزیه می‌شود. هرچهار آنزیم، متصل به بخش مسواکی سلول‌های مخاطی روده انسان هستند. البته این امکان نیز وجود دارد که آسپارتام قبل از هیدرولیز، جذب سلول مخاطی روده گردد و در این سلول‌ها متابولیزه شود (۱۷). برخی مطالعات نیز حاکی از آن است که گاهی آسپارتام در روده کوچک به دو جزء متانول و دی‌پپتید آسپارتیل-فنیل‌آلانین هیدرولیز می‌گردد که این عمل توسط استرازاها و پانکراسی صورت می‌گیرد و سپس دی‌پپتید حاصل و متانول جذب سلول مخاطی روده می‌شوند. نحوی ورود این دی‌پپتید به داخل سلول روده مانند جذب سایر دی‌پپتیدها یا لیگوپپتیدهای کوچک است. در سلول مخاطی دی‌پپتید بیشتر به واسطه آنزیم‌های آمینوپپتیداز A سیتوزولی و کمتر توسط آنزیم گلاپسین-لوسین پپتیداز غشایی که در داخل آنتروسیت‌ها قرار

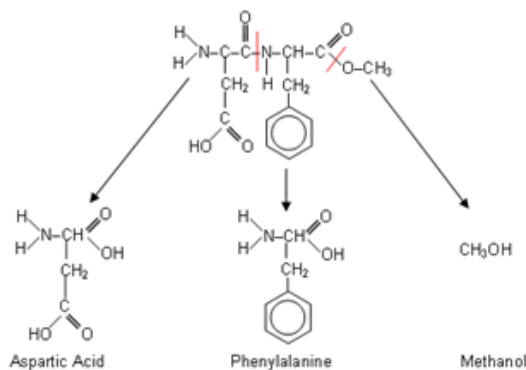
گزارش شده است. این آنزیم از لحاظ بسیاری ویژگی‌ها به PST-01 شباهت دارد. ترتیب قرارگیری اسیدهای آمینه در PT-121 کاملاً شبیه به PT-01 است، سوبسترای مشترک و فعالیت در دامنه pH یکسان از دیگر شباهت‌های این دو آنزیم است و در واقع این آنزیم، شکل تغییر یافته PT-01 می‌باشد (۱۱).

البته تغییر پارامترهای مختلف شرایط تولید آسپارتام به روش آنزیمی می‌تواند نتایج مختلفی حاصل کند (۱۱). برای مثال Furukawaa S و همکاران در سال ۲۰۱۳ با استفاده از محلول‌های یونی به عنوان حلال اولیه اسیدهای آمینه و تغییر شرایط اسیدیته، دما و همچنین استفاده از غلظت‌های مختلف آنزیم ترمولیزن، نتایج بهتری جهت تولید صنعتی بدست آوردند (۱۲).

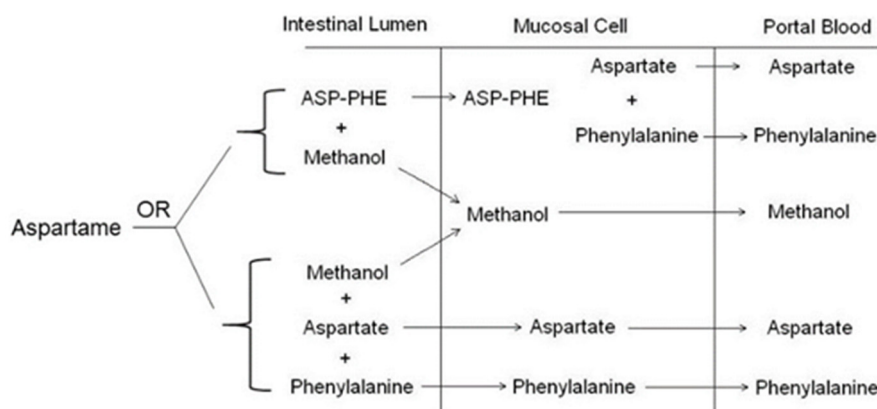
آسپارتامی که به این روش تولید می‌شود ممکن است از نوع ایزومری α و یا β باشد، که تنها فرم α آن طعم شیرین دارد. برتری آنزیم ترمولیزین در بین روش‌های تولیدی به کمک آنزیم، تولید بیشتر ایزومری فرم α است. در فرم α گروه کربوکسیل متصل به کربن آلفای اسید آمینه L-آسپارتات با گروه آمین ریشه اسید آمینه L-فنیل‌آلانین پیوند متیل استر می‌دهد، اما در فرم β گروه کربوکسیل ریشه اسید آمینه آسپارتات در پیوند شرکت می‌کند (۱۳).

متابولیسم آسپارتام

متابولیسم آسپارتام در مدل‌های حیوانی مختلف از جمله موش سوری، رت (موش صحرايي)، سگ، خوک، نژادهای مختلف میمون و انسان مورد بررسی قرار گرفته است. در دهه ۱۹۸۰ گزارش شد سرعت



شکل ۴- مواد حاصل از شکسته شدن آسپارتام در دستگاه گوارش (۱۶)



شکل ۵- نحوی جذب آسپارتام در روده کوچک (۲۰)

جدول ۱- مقادیر متانول حاصل از مواد غذایی مختلف (۲۴)

Methanol content of various natural products and aspartame-containing beverages

Product	Methanol concentration (mg/L)
Tomato juice	180-218
Grape juice	12-680
White wines	20-36
Red wines	99-271
Brandy	181-2425
Soft drink (aspartame)	55

این مقدار متانول را کاملاً بی‌خطر می‌داند. در این دستورالعمل ذکر گردیده حتی اگر یک شهروند به اندازه سقف میزان مصرف روزانه، آسپارتام استفاده کند؛ تنها ۴/۴ میلی‌گرم متانول وارد جریان خون خود می‌کند که با حداقل میزان متانول برای بروز علائم مسمومیت (۱۲ گرم) بسیار فاصله دارد. علاوه بر این در همین دستورالعمل ذکر شده است میزان متانولی که یک شهروند اروپایی در اثر مصرف پکتین میوه‌ها و سبزی‌ها در یک روز به بدن خود می‌رساند ۷۰۰ میلی‌گرم است که بسیار بیشتر از کل متانول تولیدی ناشی از مصرف مقدار روزانه مجاز آسپارتام است (معادل ۶۹ قوطی نوشابه رژیمی) (جدول ۱).

آسپارتام در جریان عمومی خون یافت نشده است؛ حتی در زمانی که میزان بسیار زیادی آسپارتام به صورت خوراکی تجویز شده باشد. علاوه بر این عدم حضور آسپارتام در شیر انسان و گلبول‌های قرمز نیز تایید دیگری بر این ادعا است (۲۶).

Ranney در سال ۱۹۷۶ گزارش کرد سرعت متابولیسم آسپارتات در نوزادان موش سوری بالاتر از موش سوری بالغ است (به علت حساسیت بیشتر موش

دارند، ابتدا به دو اسیدآمین ساخته خود هیدرولیز و سپس جذب می‌گردد (۱۷، ۱۸). آسپارتیک اسید و فنیل‌الانین هر کدام به ترتیب حدود ۴۰ و ۵۰ درصد از مولکول آسپارتام را تشکیل می‌دهند (۱۹). در شکل ۵ کلیات جذب اجزای آسپارتام مشخص شده است.

متانول حاصل از هیدرولیز آسپارتام در سلول‌های مخاطی روده متابولیزه نمی‌گردد و بعد از ورود به جریان خون سیاه رگی باب، در کبد انسان و پریمات‌ها توسط آنزیم الکل دهیدروژناز و در کبد رت علاوه بر آنزیم الکل دهیدروژناز سیستم کاتالاز پراکسیداز نیز در تبدیل متانول حاصل به فرم‌آلدهید نقش دارد. فرم‌آلدهید توسط آنزیم فرم‌آلدهید دهیدروژناز، به اسید فرمیک اکسید می‌گردد (۱۲). این واکنش‌ها با سرعت زیادی انجام می‌شوند. اسید فرمیک نیز به کمک فولیک اسید (Vit B₉) به آب و CO₂ تبدیل می‌گردد (۲۲). مقداری از اسید فرمیک نیز وارد جریان خون شده و از کلیه‌ها دفع می‌گردد (۲۳). متانول ۱۰ درصد از کل محصولات حاصل از هیدرولیز آسپارتام را تشکیل می‌دهد. دستورالعمل EC ۳۵/۹۴ / پارلمان اروپا که با توجه به آن کد E951 برای آسپارتام اعطا شده است،

آسپارتیک اسید افزایش می‌یابد. اما این افزایش در انسان بالغ و در مدل‌های حیوانی متفاوت عموماً بعد از ۶ تا ۸ ساعت به سطح نرمال خود باز می‌گردد و آسیب خاص پاتولوژیک یا اثر سمی ندارد (۲۸).

البته در مطالعه (Finkelstein, 1988) و همچنین مطالعه (Schain Ker and Olney, 1974) بعد از مصرف بسیار بالای آسپارتیک اسید برای مدت طولانی (۲ گرم اسید آسپارتیک به ازای هر کیلو وزن بدن به مدت ۷ ماه) در موش‌ها ضایعات هیپوتالاموسی مشاهده شد، که این مقادیر بسیار بیشتر از میزان مصرف روزانه این اسید آمینه در جیره غذایی معمول است. در مطالعات انسانی بعد از مصرف مقادیر زیاد اسید آسپارتیک در بالغین و در کودکان موارد قابل ذکر خاصی که مستقیماً به مصرف اسید آسپارتیک ارتباط داشته باشد گزارش نشده است. (۲۹-۳۰) در حالت معمول آسپارتات مصرفی بیش از نیاز بدن به اگزوالاستات تبدیل می‌گردد (۲۷).

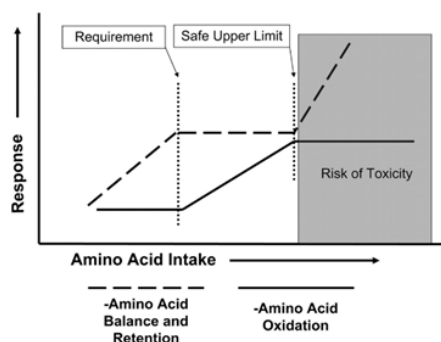
فنیل آلانین

فنیل آلانین اسید آمینه دیگری است که بعد از تجزیه آسپارتام در لوله گوارشی یا سلول مخاطی روده کوچک وارد جریان خون می‌شود. فنیل آلانین یک اسید آمینه ضروری می‌باشد که بدن قادر به سنتز آن نیست. مصرف روزانه توصیه شده برای فنیل آلانین از طرف FAO و WHO بین ۱۴ تا ۱۶ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن یک مرد سالم بالغ در روز می‌باشد. این مقدار در اطفال ۴۴ میلی‌گرم و در کودکان ۲۲ میلی‌گرم است. سطح مصرف قابل تحمل (شکل ۶) برای این اسید آمینه بین ۱۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌گرم در روز

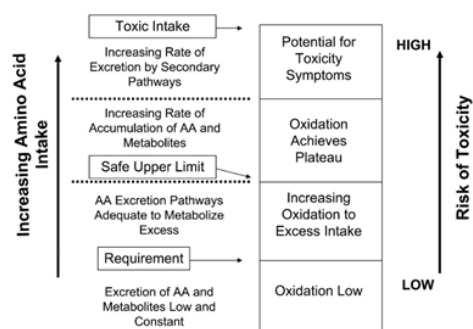
نوزاد به دوز بالای آسپارتیک اسید) (البته او فاکتور جنسیت را در نظر قرار نداده بود. او بر مبنای افزایش سطح پلاسمایی اسید آسپارتیک بعد از گاوآژ میزان برابری از آسپارتام در موش‌های نوزاد و بالغین، این مطلب را گزارش کرد. هم‌چنین گزارش کرد، که جامعه مورد مطالعه او کودکان، بالغین و افراد مسن بوده‌اند نتایجی نزدیک به نحوی متابولیسم آسپارتام در مدل‌های حیوانات آزمایشگاهی به دست آورد (۲۶).

اسید آسپارتیک

اسید آسپارتیک یا آسپارتات یک اسید آمینه غیر ضروری می‌باشد که بدن خود توانایی سنتز آن را دارد (۲۷). اسید آسپارتیک حاصل از تجزیه آسپارتام به وسیله خون سیاه رگی باب وارد کبد می‌گردد. میزان مصرف روزانه مشخص شده اسید آسپارتیک از سوی Institute of Medicine در سال ۲۰۰۵، ۶/۵ گرم در روز توصیه شده است. اعتقاد بر این است که آسپارتیک اسیدی که از آسپارتام وارد بدن می‌شود، تفاوتی با آسپارتیک اسیدی که از سایر مواد غذایی پروتئینی مانند شیر یا گوشت وارد می‌شود ندارد. سطح مصرف قابل تحمل (Tolerable upper intake level) خاصی برای آسپارتیک اسید تعریف نشده است (۲۸). Institute of Medicine حتی مصرف ۱۲۰ میلی‌گرم آسپارتات به ازای هر کیلوگرم وزن بدن را بی‌خطر دانسته است. این اعداد توسط FAO و FDA نیز مورد قبول هستند. در دو مقدار برابر از شیر و نوشابه حاوی آسپارتام، میزان اسید آسپارتیکی که از شیر به بدن می‌رسد، ۱۳ برابر آسپارتات نوشابه است (۲۹). قاعدتاً بعد از مصرف آسپارتام، سطح سرمی



شکل ۶- سطوح مختلف دریافت اسیدهای آمینه و واکنش‌های احتمالی بعد از آن (۳۰)



(۳۰)

آنزیم پیرووات کربوکسیلاز مغزی توسط غلظت بالای فنیل‌آلانین و یا نقص در سنتز و تجزیه نوروترانسمیترهای وابسته به فنیل‌آلانین (۳۱-۲۸). با توجه به نوع بیماری فنیل‌کتونوری، اگر بیماری از نوع غیر کلاسیک آن باشد که مربوط به اختلال در آنزیم دی‌هیدرو بیوپترین‌ردوکتاز است که حدود ۲۰ درصد مبتلایان از این نوع بیماری رنج می‌برند، رعایت رژیم غذایی با مقادیر کم اسیدآمین فنیل‌آلانین راه‌گشا نخواهد بود.

اگر بیماری از نوع فنیل‌کتونوری کلاسیک یا (PKU) باشد که حدود ۸۰ درصد بیماران به این نوع مبتلا هستند، درمان اصلی بعد از تشخیص و غربالگری مناسب در زمان نوزادی، تجویز رژیم غذایی با میزان بسیار کم اسیدآمین فنیل‌آلانین است. برای جلوگیری از آسیب‌های مغزی و عقب‌ماندگی ذهنی رعایت این نوع از رژیم غذایی بسیار ضروری است. با توجه به این موضوع، مهمترین محدودیت استفاده از شیرین‌کننده سنتزی آسپارتام، مربوط به بیماران مبتلا به فنیل‌کتونوری کلاسیک است. از این جهت بر روی تمام محصولات حاوی آسپارتام منع مصرف و یا اجازه مصرف بسیار جزئی از آن با مشورت پزشک معالج برای این بیماران باید ذکر شود (۳۱).

مطالعه تاثیر مصرف آسپارتام بر پارامترهای بیوشیمیایی خون

Marie S.A و همکاران در مطالعه خود از موش‌های صحرایی نر به عنوان مدل آزمایشگاهی استفاده کرده‌اند که در گزارش حاصل از پژوهش خود از تغییر ۹ متابولیت مختلف شامل (لازین، سرین، گلیسین، پروپیونات، کراتینین، ۳-هیدروکسی بوتیرات، متانول، گلیسرول و اوره) در سرم خون حیوانات تحت تیمار با آسپارتام خبر دادند (۳۲).

تاثیر مصرف آسپارتام بر میزان اسیدهای آمینه خون

مطالعات گسترده‌ای در زمینه بررسی تاثیر مصرف آسپارتام بر میزان تغییرات اسیدهای آمینه خون در شرایط متفاوت انجام شده است. این تغییرات در سنین مختلف (نوزادی، کودکی، نوجوانی، جوانی، میان سالی و کهن سالی) در شرایط متفاوت تغذیه‌ای مانند ناشتایی و یا بعد از وعده غذایی، در دوزهای گوناگون هم در انسان

سه چهارم از فنیل‌آلانین ورودی به بدن به اسیدآمین تیروزین تبدیل می‌شود. از این حیث در اکثر مطالعات این دو اسید آمینه را در کنار یکدیگر مورد بررسی قرار می‌دهند. کمپلکس آنزیمی فنیل‌آلانین هیدروکسیلاز وابسته به تتراهیدروبیوپترین این تبدیل را انجام می‌دهد. اسیدآمین حاصل از این واکنش که تیروزین است، پیش‌ساز مواد شیمیایی مهمی در بدن می‌باشد.

دوپامین، نوراپی‌نفرین، اپی‌نفرین، ملانین و هورمون‌های تیروئیدی از جمله مهمترین آن‌ها هستند (۳۱). آنچه که نقش فنیل‌آلانین را در بدن پررنگ‌تر نشان می‌دهد همین مواد شیمیایی هستند که از متابولیسم آن منشا می‌گیرند و البته بیماری فنیل‌کتونوریا (PKU) که به خاطر نقص در آنزیم فنیل‌آلانین هیدروکسیلاز که در مسیر متابولیسم فنیل‌آلانین نقش دارد به وجود می‌آید. این بیماری دارای دو فرم کلاسیک (نوع اول) و غیر کلاسیک (نوع دوم) می‌باشد. کمبود آنزیمی فنیل‌آلانین هیدروکسیلاز منجر به تجمع اسیدآمین فنیل‌آلانین در بافت‌های مختلف بدن می‌گردد و به محصولات فرعی متابولیکی تبدیل می‌شود. فنیل‌آلانین تجمع یافته از طریق واکنش ترانس‌آمینازی به متابولیت فنیل پیرووات دآمین تبدیل می‌گردد. فنیل پیرووات حاصل ممکن است به فنیل لاکتات احیا شود و یا طی واکنش دکربوکسیلاسیون به فنیل‌استات تبدیل گردد. فنیل‌استات می‌تواند توسط یک پیوند آمیدی به گلوتامین متصل شود که نهایتاً فنیل‌استیل‌گلوتامین را ایجاد می‌کند. دفع فنیل پیرووات، فنیل‌استات، فنیل‌گلوتامین و یا دفع فنیل لاکتات از طریق ادرار صورت می‌گیرد. به تجمع این متابولیت‌های فرعی و دفع آنها از طریق ادرار، بیماری فنیل‌کتونوری گفته می‌شود. دفع فنیل‌استات در ادرار سبب ایجاد بوی خاصی که معروف به بوی موش است، می‌شود (۳۱).

فنیل‌کتونوری با شیوع یک در هر ۱۵۰۰۰ تولد شایع‌ترین نقص آنزیم متابولیسم اسیدهای آمینه می‌باشد. تجمع این اسیدآمین و یا متابولیت‌های آنها در نوزادان منجر به اختلال در نمو سیستم عصبی و عقب‌ماندگی ذهنی می‌شود. سه دلیل اصلی که برای این علائم ذکر می‌کنند عبارتند از رقابت فنیل‌آلانین با سایر اسیدهای آمینه برای عبور از سد خونی مغزی، مهار

جدول ۲- غلظت خونی سه اسید آمینه در کودکان در مقایسه با بزرگ سالان و بیماران مبتلا به فنیل کتونوریا ($\mu\text{mol/dl}$) (۳۳)

Amino acid	Children	Adults	PKU patients
Aspartic acid	0 to 2.6	0 to 0.6	NR
Phenylalanine	2.6 to 8.6 (fasting) 12.0-15.0 (postprandial)	4.1 to 6.8 (fasting) 12.0 (postprandial)	Classic: 120-300 (fasting) Heterozygous: 6.0-12.0 (fasting)
Tyrosine	2.6 to 10.0	4.5 to 7.4	NR

Note. NR = not reported.

است. همچنین گفته شده که مصرف مقادیر بالای این ماده توسط بیماران مبتلا به درجاتی از افسردگی سبب بروز عوارض جانبی شدیدی گشته و از این رو مصرف فرآورده‌های حاوی آسپارتام برای افراد مبتلا به اختلالات روحی توصیه نشده است (۳۶). به دنبال مصرف ترکیبات حاوی آسپارتام و متابولیسم این ماده در بدن سه متابولیت اصلی تولید خواهد شد؛ فنیل‌آلانین، اسید آسپارتیک و متانول. در این بین متانول به طور مستقیم می‌تواند به واسطه آسیب میتوکندریایی و در نتیجه افزایش تکثیر میکروزومی، باعث افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن گردد. از طرف دیگر متانول ابتدا در کبد به فرمالدهید و سپس به اسید فرمیک (فرمات) متابولیزه می‌شود و در ادامه اسیدفرمیک با مهار سیتوکروم‌اکسیداز باعث تولید رادیکال‌های سوپراکسید، پراکسیل و هیدروکسیل می‌شود. تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد به طور مستقیم باعث مرگ نوروهای کورتکس مغز و القای تخریب DNA می‌شود. در کنار تولید رادیکال‌های آزاد؛ مشخص شده است که مصرف طولانی مدت آسپارتام در رت‌های بیمار شده با ماده متوترکسات سبب افزایش بیان ژن‌های پروآپوپتوتیک و کاهش پروتئین‌های آنتی‌آپوپتوتیک می‌شود. بنابراین آسپارتام هم به واسطه تولید رادیکال‌های آزاد و هم به واسطه افزایش بیان ژن، باعث فعال شدن مسیر های آپوپتوز در مغز می‌گردد و از این رو آسپارتام را به عنوان یک عامل استرس‌زای شیمیایی معرفی کرده‌اند (۳۷). غلظت‌های بیش از حد فنیل‌آلانین در مغز موجب مهار انتقال برخی از اسیدهای آمینه ضروری به مغز می‌شود و این امر باعث کاهش سطوح دوپامین، سروتونین و گابا (GABA) در مغز می‌گردد (۳۸، ۳۹). در مطالعه‌ای مشخص گردید که به دنبال مصرف طولانی مدت آسپارتام توسط رت‌ها، مقدار دوپامین در نواحی کورپوس استریاتوم و بخش

و هم در حیوانات آزمایشگاهی (موش سوری، موش صحرایی، خرگوش، پرمایت‌ها) مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و نتایج آن‌ها گزارش شده است. در جدول ۲ مقادیر طبیعی میزان اسیدهای آمینه سازنده آسپارتام در کودکان و بالغین ذکر شده است (۳۳).

Stegink و همکاران در سال ۱۹۷۹ در مطالعه‌ای با مدل Cross Over میزان آسپارتات و فنیل‌آلانین آزاد در خون در بزرگسالان سالم را ۲۴ ساعت بعد از مصرف ۳۴ mg/kg BW آسپارتام گزارش کردند که تفاوتی با میزان پلاسمایی این دو اسید آمینه بعد از صرف غذای عادی نداشت. همچنین زمانی که همین آزمایشات بر زنان شیرده انجام شد نیز نتایج مشابه‌ای بدست آمد و تنها تفاوت آن افزایش میزان فنیل‌آلانین و تیروزین بعد از مصرف یک دوز خوراکی آسپارتام در شیر مادران و نه در پلاسمای آنها بوده است (۳۴).

غلظت آسپارتیک اسید به عنوان یک نوروترانسمیتر در سیستم عصبی مرکزی مهم است. اما از آنجایی که آسپارتیک اسید از سد خونی-مغزی عبور نمی‌کند و دستگاه عصبی مرکزی آن را از پیش‌سازهایی مانند گلوکز می‌سازد، افزایش سطح آسپارتیک اسید بعد از مصرف آسپارتام در خون تاثیری بر میزان آن در دستگاه عصبی مرکزی ندارد، بجز در مواردی که سد خونی مغزی خود آسیب دیده باشد. در این صورت سلول‌های عصبی که گیرنده اسید آسپارتیک دارند بیشترین آسیب را می‌بینند (۳۵).

تاثیر آسپارتام بر روی دستگاه عصبی مرکزی

مقادیر بالای آسپارتام می‌تواند مغز و به دنبال آن رفتار را در برخی از افراد تحت تاثیر قرار دهد و سبب بروز عوارضی چون سردرد، بی‌خوابی، صرع و ایجاد اختلال در غلظت کاتکول‌آمین‌ها در برخی از نواحی مغز گردد. در برخی از مطالعات، ارتباطی بین مصرف زیاد آسپارتام و آغاز حملات صرع اپی‌لپتیک مشاهده شده

معنی دار در اندازه فضای ادراک بود. همچنین قطر دهانه لوله پیچیده نزدیک ضخامت بیشتری یافته بود و تغییر در ارتفاع اپیتلیوم این لوله‌ها به علت کاهش ارتفاع بافت پوششی گزارش شد. کاهش قطر جسمک کلیوی و کلافه مویرگی در گروه تیمار نسبت به گروه شاهد نیز از دیگر یافته‌های این مطالعه بود. در نهایت این مطالعه این طور نتیجه‌گیری کرده است که مصرف آسپاراتام قبل از سن بلوغ در موش سوری شاید بتواند موجب تغییرات مورفومتریک و هیستومتریک مشخصی در ساختار کلیه‌ها شود (۴۲).

در سال ۲۰۱۴ Finamor و همکاران، متانول حاصل از متابولیسم آسپاراتام و فرم‌آلدئید حاصل از آن که در کبد، کلیه‌ها و مغز تولید می‌گردد، را موجب افزایش تولید پراکسید هیدروژن و آنیون سوپراکساید دانستند که می‌تواند برای کلیه‌ها با ایجاد حالت استرس اکسیداتیو آسیب‌رسان باشد. آنچه در اکثر مطالعات تاثیر مصرف آسپاراتام بر کلیه مطرح شده است، افزایش رادیکال‌های آزاد و آنزیم‌های مرتبط با آنها در این اندام و آسیب ناشی از این رادیکال‌ها بر کلیه می‌باشد. اما باید توجه داشت، اکثر این نتایج حاصل کار بر مدل‌های حیوانی است و اطلاعات بالینی مرتبط با انسان در این زمینه بسیار اندک می‌باشد (۴۳).

آیا مصرف آسپاراتام تهدید کننده سلامت کبد است و باعث تغییر جریان استرس اکسیداتیو می‌شود؟

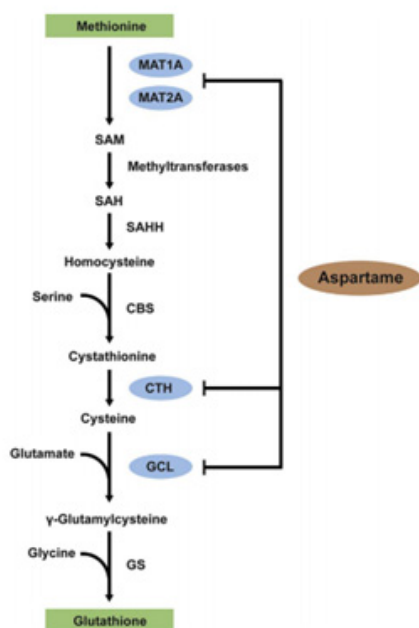
کبد به عنوان اندامی که بیشترین حجم فرآیندهای بیوشیمیایی مرتبط با متابولیسم مواد شیمیایی سنتتیک (گزانوبیوتیک‌ها) در آن صورت می‌گیرد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۲۹). متانول حاصل از هیدرولیز آسپاراتام در سلول‌های مخاطی روده متابولیزه نمی‌گردد و بعد از ورود به جریان خون سیاه رگی باب، در کبد انسان، پریمات‌ها و رت (موش صحرایی) توسط آنزیم الکل دهیدروژناز به فرم‌آلدئید تبدیل می‌شود؛ البته در کبد رت علاوه بر آنزیم الکل دهیدروژناز، سیستم کاتالاز-پراکسیداز نیز در تبدیل متانول به فرم‌آلدئید نقش دارد. فرم‌آلدئید توسط آنزیم فرم‌آلدئید دهیدروژناز به اسیدفرمیک‌اکسید می‌گردد (۲۰). بنابراین در نگاه اول طبیعی است با آگاهی از این مسیر، آسیب کبدی حاصل مصرف آسپاراتام مورد سوال واقع گردد. در

قشری کورتکس و مقدار سروتونین در کورپوس استریاتوم دچار کاهش چشمگیری می‌شود (۴۰). مقادیر بیش از اندازه اسیدآسپارتیک در مغز نیز منجر به افزایش تحریک‌پذیری نورون‌ها می‌شود (۳۸). در مطالعه‌ای دیگر نیز اثر تحریکی مصرف آسپاراتام در موش صحرایی به واسطه افزایش تحرک و ایستادن مشخص شده است. در این مطالعه همچنین تغییرات مورفولوژیکی بافت عصبی و آسیب نورون‌ها به واسطه استرس اکسیداتیو ناشی از آسپاراتام نشان داده شده است (۳۵). در رابطه با خواص سرطان‌زایی آسپاراتام اطلاعات ضد و نقیضی وجود دارد؛ علی‌رغم اینکه کارسینوژن بودن متابولیت‌های آسپاراتام توسط FDA در سال‌های بسیار دور رد شده است اما، گفته شده که یکی از متابولیت‌های آسپاراتام با نام دی‌کتوپپیرازین دارای خواص کارسینوژنیک بوده و در بافت مغز می‌تواند سبب ایجاد تومور با منشا سلول‌های آستروسیت (سلول‌های تغذیه کننده نورون) گردد. لازم به ذکر است که دی‌کتوپپیرازین در نتیجه انبارداری طولانی مدت نوشیدنی‌ها در دمای بالا و pH بالای ۶، افزایش می‌یابد (۳۸).

تاثیر مصرف آسپاراتام بر کلیه‌ها

بسیاری از مطالعات تجربی حاکی از کاهش عملکرد و یا آسیب کلیه‌ها به دنبال مصرف آسپاراتام است. بسیاری از این گزارشات حاصل کار بر روی حیوانات آزمایشگاهی مانند موش سوری، موش صحرایی و خرگوش بوده است. Saleh A.B. و همکاران در سال ۲۰۱۴ در پژوهشی که در آن موش‌های صحرایی نر آسپاراتام را به صورت محلول در آب با دوز ۰/۲۵ g/l به مدت دو ماه دریافت می‌کردند، افزایش معنا داری در میزان ازت اوره خون (BUN)، کراتینین و پتاسیم سرم خون را گزارش دادند که در مجموع، علت این افزایش در پارامترهای مرتبط با کلیه، آسیب کلیوی ذکر شد (۴۱).

در مطالعه‌ای دیگر که موش سوری به عنوان مدل آزمایشگاهی تعریف شده بود، بعد از سه هفته مصرف آسپاراتام با دوزهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ mg/BW علاوه بر کاهش وزن گروه تیمار نسبت به گروه شاهد، بررسی هیستومتریک کلیه این موش‌ها حاکی از کاهش معنی‌دار وزن، طول، عرض و ضخامت کلیه‌ها و افزایش



شکل ۷- تاثیرات آسپارتام در متابولیسم کبد (۴۵)

(۴۶-۴۷). در مطالعه ای بر روی جامعه انسانی که از نوشیدنی غیرالکلی حاوی آسپارتام و نوشیدنی‌های دیگر حاوی کارامل استفاده می‌کردند انجام شده است؛ بر خلاف انتظار اولیه، بین ابتلا به کبد چرب، مقاومت به انسولین، سندرم متابولیک و مصرف این نوع از نوشیدنی‌ها، وجود رابطه مستقیم معناداری گزارش شده است (۴۸).

در سال ۲۰۱۳ Kamenickova A و همکاران طی مطالعه خود از بی‌تاثیر بودن مصرف آسپارتام بر سیتوکروم CYP1A1 و نوع CYP1A2 که مختص بافت کبد است و همچنین عدم تاثیر آسپارتام بر گیرنده (Arylhydrocarbon receptor) AhR که در متابولیسم مواد گزنوبیوتیک و داروهای مختلف موثر است گزارش دادند (۴۹). در مطالعه دیگری Higgins A.K و همکاران در سال ۲۰۱۸ از بی‌تاثیر بودن مصرف آسپارتام به مدت ۱۲ هفته بر تغییرات قندخون، وزن بدن، شاخص BMI، اشتها، میزان هورمون لپتین، پپتید اشته گلوکاگون یا پپتید مهاری معده‌ای و میزان انسولین خون در بزرگسالان لاغر خبر دادند. در مقابل افراد این گروه، گروه دیگری بودند که در شرایط یکسان به نسبت مشخص از دکستروز استفاده می‌کردند. در این مطالعه از تست تحمل خوراکی گلوکز طی ۲۴۰

تحقیقات صورت گرفته در دهه ۹۰ میلادی به دنبال مصرف تنها یک دوز آسپارتام، بین مصرف این ماده و تغییر آنزیم‌های میکروزومی کبد تغییری دیده نشد؛ در این مطالعه آنزیم‌های p-نیتروفیل، UDP-گلوکوزیل ترانسفراز، اپوکساید هیدرولاز و کربوکسیل استراز اندازه‌گیری شده بودند (۴۴). اما در تحقیق دیگری در سال ۲۰۱۷، برای تعیین تغییرات احتمالی حاصل از مصرف بلند مدت آسپارتام، برای هر موش به مدت ۹۰ روز دریافت آسپارتام تعریف شده بود. این مطالعه با بررسی شاخص‌های آنزیمی آسیب کبدی، افزایش غلظت آنزیم های آلانین آمینوترانسفراز (ALT) و آسپاراتات آمینوترانسفراز پلاسمایی (AST)، کاهش گلوتاتیون احیا (GSH)، گاماگلوتامیل سیستئین (-γ GC) و کاهش اکثر محصولات مرتبط با مسیر متابولیسمی ترانس سولفوریشن مانند سیستئین، اس-آدنوزیل متیونین (SAM) و اس-آدنوزیل هومئوسیستئین (SAH) را نشان داد (شکل ۷). همچنین کاهش بیان ژن پروتئین‌های اس-آدنوزیل ترانسفراز A1 و A2، کاهش میزان mRNA و پروتئین‌های گلوتامات سیستئین لیگاز (GCLC) و سیستاتینونین گامالیاز از دیگر یافته‌های این مطالعه بود (۴۵).

در مطالعه Iyaswamy A. and Rathinasamy S. در سال ۲۰۱۵ و همچنین یک مطالعه دیگر که از موش‌های صحرایی زال، به عنوان مدل حیوانی استفاده کرده بودند، در کنار آسپارتام داروی ضد توموری متوتروکسات را برای القا کاهش فولات تجویز نمودند. نتایج حاصل از این مطالعات در راستای تایید افزایش استرس اکسیداتیو بود. در این مطالعات افزایش آنزیم سوپراکسید دیسمتاز (SOD)، کاتالاز، لیپیدپراکسیداز (LPO)، گلوتاتیون پراکسیداز (GPx) و کاهش گلوتاتیون احیا گزارش شده است. همچنین، افزایش تولید نیتریک اکساید (NO)، پروتئین شوک حرارتی (HSP70)، فاکتور نکروز دهنده تومور آلفا (TNF α)، افزایش آنزیم کاسپاز ۸، C-jun N terminal kinases 3 (JNK)، Nuclear factor kappa B (NF-κB) نیز در بافت کبدی از دیگر یافته‌های قابل توجه است. افزایش شکست DNA سلول‌های کبدی نیز از دیگر مشاهدات آن‌ها می‌باشد. کاهش وزن کبد و مغز در گروه تیمار نسبت به گروه کنترل نیز معنا دار بوده است ($P < 0.05$)

متابولیک را به صورت دو یا تعدادی از معیارهای زیر تعریف کرده است: چاقی شکمی، دیس لیپیدمی، فشارخون بالا، مقاومت به انسولین، افزایش متوسط در قند خون ناشتا، حالت پیش انعقادی (Prothrombic state) و پیش التهابی (Pro-inflammatory state) (۳۱).

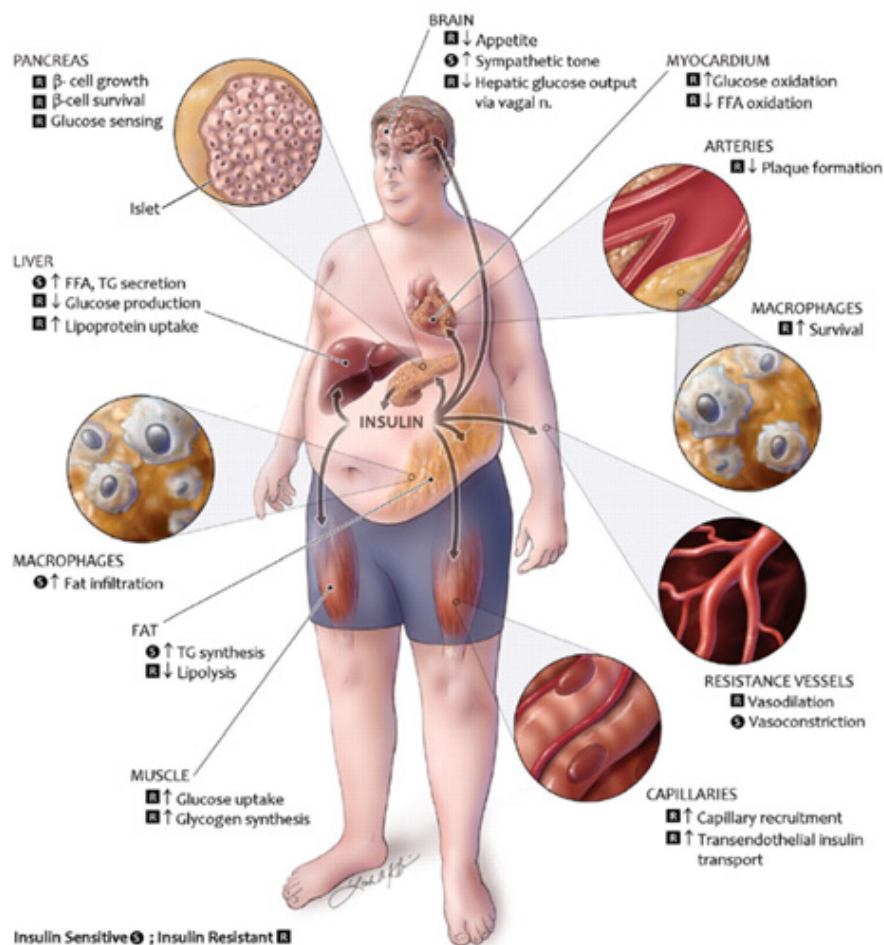
گرفتنی عروق کرونر قلب و آسیب دیواره مویرگ‌های بدن، انواع دیس لیپیدمی و اختلال در متابولیسم چربی‌ها، اختلال در کارکرد کبد و مستعد شدن به عارضه کبد چرب، اختلال در هومئوستاز کربوهیدرات‌ها از جمله عوارض سندرم متابولیک می‌باشند (شکل ۸) (۵۱).

اضافه وزن ناشی از دریافت کالری بیش از نیاز روزانه می‌تواند آغازی برای سندرم متابولیک باشد. مصرف

دقیقه بعد از مصرف گلوکز یا OGTT نیز استفاده شده بود. با توجه به پارامترهای اندازه گیری شده، در نهایت ارتباط معنا داری بین مصرف آسپارتام و عدم تنظیم قند خون که می‌تواند بیان کننده کارکرد اشتباه کبد در این زمینه باشد گزارش نشده بود (۵۰).

مصرف آسپارتام و ارتباط آن با سندروم متابولیک و عوارض آن (انواع دیس لیپیدمی، مقاومت به انسولین، چاقی، انواع دیابت، بیماریهای قلبی - عروقی و...)

همراهی چهار مشخصه چاقی، مقاومت به انسولین، دیس لیپیدمی و فشارخون بالا را از نظر بالینی سندروم X یا سندروم متابولیک گویند که ارتباط زیادی با میزان بالای مرگ قلبی - عروقی در کشورهای غربی دارد. سازمان بهداشت جهانی (WHO) سندروم



شکل ۸- سندروم متابولیک و عوارض ناشی از آن (۵۱)

چهار شیرین کننده آسپارتام، ساخارین، Acesulfame-K و Cyclamate به صورت جداگانه تغذیه شدند (۵۳). در مطالعه دیگری که Collison K.S و همکاران در سال ۲۰۱۲ آن را منتشر کردند مصرف طولانی مدت آسپارتام را برهم زننده هومئوستاز گلوکز و ایجاد هایپرگلیسمی دانستند. در این مطالعه هم از موش‌های جنس نر و هم جنس ماده استفاده شده بود. بعد از ۱۷ هفته تیمار حیوانات با دوزهای مشخص آسپارتام، اختلاف معناداری بین میزان مصرف غذا و مایعات در بین گروه کنترل و گروه تیمار دیده نشد، اما وزن بدن و چربی احشایی (Visceral Fat) در هر دو جنس نر و ماده به شکل معناداری نسبت به گروه کنترل افزایش یافته بود. این افزایش در موش‌های نر حداقل دو برابر موش‌های جنس ماده بود؛ اما در میزان انسولین ناشتا این گروه‌ها و گروه کنترل تغییر معناداری دیده نشد. هرچند که سطح انسولین موش‌های ماده در گروه کنترل کمی پایین تر از جنس نر بود ($P < 0.01$). میزان کلسترول تام و تری‌آسیل گلیسرول در گروه‌های تیمار شده با آسپارتام و اسید گلوتامیک کمتر از گروه کنترل بود و میزان HDL-کلسترول در موش‌های نر کاهش معناداری داشت ($P < 0.05$) (۵۴).

اما در یک مقاله مروری که در سال ۲۰۱۲ توسط Anne Rabena and Bjørn Richelsen در مجله *Functional foods and dietary supplements* منتشر گردید، بعد از مرور بیش از ۳۷ مقاله پژوهشی منتشر شده تا آن زمان نتیجه‌گیری‌ای مخالف با مطالعات فوق ارائه شد. این مطالعه مروری مصرف کوتاه و یا بلند مدت آسپارتام را به جای شکر با هدف کاهش میزان انرژی دریافتی، جایگزینی مناسب ذکر کرد. نتیجه‌گیری دیگر آن‌ها حاکی از آن بود که مصرف آسپارتام موجب کنترل وزن و حتی کاهش آن و کاهش خطر ابتلا به دیابت نوع دوم می‌شود. آن‌ها همچنین در گزارش خود مصرف آسپارتام را سبب افزایش قند خون ناشتا، سطح هورمون انسولین و لیپیدهای خون ندانستند (۵۵).

Swithers S.E. در مقاله مروری دیگری که در سال ۲۰۱۵ با عنوان *Artificial sweeteners are not the answer to childhood obesity* در مجله *Appetite* منتشر کرده است، مصرف آسپارتام را نه تنها راهی موثر

بالای قندهای ساده به خصوص گلوکز، از علت‌های افزایش وزن محسوب می‌گردد. لذا جایگزینی گلوکز با طعم‌دهنده‌هایی مانند آسپارتام که در مقدار برابر کالری کمتری دارند مورد توجه است. از این جهت تبلیغات شرکت‌های تولید کننده نوشیدنی‌ها و دیگر محصولات شیرین؛ تاکید بر این موضوع دارند که مصرف شیرین کننده‌ای مانند آسپارتام با وجود مزه شیرین، می‌تواند مانعی از شروع سندروم متابولیک باشد. اما بعد از انتشار مطالعه Jotham Suez و همکاران در سال ۲۰۱۴ در مجله *NATURE* با عنوان *Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota* که بیانگر ارتباط معنی‌دار، بین مصرف شیرین کننده‌های مصنوعی (ساخارین-آسپارتام و سوکرالوز) و عدم تحمل گلوکز بود، ادعاهای پیشین زیر سوال رفت. Jotham Suez و همکاران در مطالعه‌ای گسترده از موش‌های کاملاً استریل فاقد هر گونه میکروفلوری استفاده کردند؛ سپس از مدفوع انسان نمونه‌گیری کردند و میکروفلوری کاملاً مشابه میکروفلور انسانی در موش‌ها القا نمودند. برای ۱۵ هفته موش‌ها در چندگروه مجزا تحت تیمار با غلظت‌های مشخصی از شیرین کننده‌های مصنوعی از جمله آسپارتام قرار گرفتند. در نهایت با اندازه‌گیری پارامترهای مختلف موثر در هومئوستاز گلوکز و شناسایی تغییرات در میکروفلور دستگاه گوارش موش‌ها، تغییر متابولیت‌های تولیدی آنها در سراسر بدن موش‌ها مشخص گردید و آنها اثبات کردند که مصرف این شیرین کننده‌ها موجب عدم تحمل گلوکز می‌شود (۵۲). مطالعه مشابه دیگری در همان سال ۲۰۱۴ توسط Marie S. و همکاران منتشر شد، که نتایج مطالعه Jotham Suez را به نوعی تایید می‌کند؛ با این تفاوت که بر روی موش صحرائی انجام گرفته بود (رجوع شود به بخش ارتباط مصرف آسپارتام و دستگاه ایمنی همین مقاله). مطالعه Polyak E. et al, 2010 در مجارستان تحت عنوان *Effects of artificial sweeteners on body weight, food and drink intake* و نشان دادند که مصرف شیرین کننده‌های جایگزین شکر از جمله آسپارتام، موجب افزایش وزن بدن موش‌های تیمار شده با آسپارتام می‌شود. در این مطالعه موش‌های نر و ماده نژاد CBA/CA به مدت ۲۵ هفته با

مطالعه حاکی از افزایش ۵۰ درصدی جذب آراشیدونیک اسید توسط این سلول‌ها و افزایش ۵ برابری تولید متابولیت‌های حاصل از اسیدآراشیدونیک شامل leukotriene C4 (LTC4)، leukotriene B4 (LTB4)، و 15-hydroxyeicosatetraenoic acid (HETE) در ماکروفاژهای حاضر در محیط کشت بود. در پایان این افزایش تولید متابولیت‌های حاصل از آراشیدونیک اسید، دلیلی برای توجیح برخی عوارض گوارشی که بعد از مصرف آسپارتام ایجاد می‌شود، بیان شد (۵۹).

در مطالعه Szucs E. F. و همکاران در سال ۱۹۸۶ اثرات آلرژیک آسپارتام به دنبال تحریک بازوفیل‌ها، مست‌سل‌ها با این ترکیب مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت گزارش شد که در محیط کشت سلولی حاوی مست‌سل‌های موشی، محیط کشت حاوی مست‌سل‌ها و بازوفیل‌های انسانی، آزمایش تحریک مست‌سل‌های انسانی در آزمایشگاه و درآزمایش تست پوستی تزریق آسپارتام در انسان، آسپارتام محرک تولید هیستامین نمی‌باشد. از طرفی آسپارتام و اجزای تشکیل دهنده آن قدرت جلوگیری از آزادسازی IgE را ندارند و در مجموع آسپارتام را با توجه به آزمایشات انجام شده عاملی برای بروز علائم آلرژی نمی‌دانند (۶۰).

در سال ۱۹۹۸ Ramsland P.A. et al ادعایی یک گزارش کلینیکی (Edmundson A. B. and Manion C. V., 1998; Clin. Pharmac. Ther. 63, 580-593) مبنی بر کاهش درد مفاصل و بهبود کیفیت زندگی مبتلایان به استئوروماتوئید آرتریت پس از مصرف نوشیدنی‌های حاوی آسپارتام را، در آزمایشگاه مورد بررسی قرار دادند. بعد از جدا کردن سرم خون بیماران مبتلا و سنجش روماتوئید فاکتور (IgM rheumatoid factors) که به همراه تاریخچه نشان دهنده بیماری آنها در ده سال قبل بود، این فاکتور را به همراه مقدار مشخصی آسپارتام در معرض دومن FC از IgG قرار دادند. سپس میان‌کنش بین RF از IgM و دومن FC از آنتی‌بادی IgG را به روش الایزا مورد سنجش قرار دادند. به شکلی معنادار میان‌کنش بین IgM (RF) و دومن FC نسبت به گروه کنترل کاهش یافته بود و آسپارتام مانع از این میان‌کنش شده بود. البته علاوه بر آسپارتام در این مطالعه از ترکیب غیراستری

برای کاهش خطر شروع سندروم متابولیک، بیماری‌های قلبی-عروقی و جلوگیری از چاقی کودکان نمی‌داند، بلکه ارتباط بین مصرف آن با بیماری‌های مزمن ناشی از مصرف گلوکز در دراز مدت را مستقیم می‌داند (۵۶).

ارتباط مصرف آسپارتام و دستگاه ایمنی

در تحقیقی فیتوهموگلوآگوتینین (PHA) به عنوان محرک سیستم ایمنی همورال و اندوتوکسین LPS را به عنوان محرک فرآیند التهاب، به محیط کشت حاوی خون کامل اضافه کردند، در گروه‌های مختلف از شیرین‌کننده‌های مصنوعی مانند آسپارتام و ساخارین و شیرین‌کننده‌های طبیعی مانند شکر استفاده نمودند. نتایج نشان داد که هیچ کدام از شیرین‌کننده‌های مصنوعی یا طبیعی به عنوان سیتوتوکسیک عمل نکردند و هیچ کدام از شیرین‌کننده‌های مصنوعی یا طبیعی باعث القا مرگ سلولی نشدند. تنها در گروه حاوی شیرین‌کننده‌های مصنوعی، کاهش آزادسازی واسطه التهابی اینترلوکین-6 (IL-6) و درگروه شیرین‌کننده‌های طبیعی، افزایش اینترلوکین-6 مشاهده‌گشت؛ اما از نظر آماری این تغییرات معنادار نبودند ($P > 0.001$) (۵۷).

در مطالعه ای که در سال 2016 توسط Choudhary A. K., Devi R. S انجام گرفت بعد از اینکه موش‌های صحرایی نر نژاد ویستار (Wistar) را ۹۰ روز با دوز ۴۰ mg/kg/day آسپارتام تیمار کردند، هیچ آپوپتوز ناخواسته در بافت‌های دستگاه ایمنی مانند طحال، تیموس و غدد لنفاوی مختلف بدن مشاهده نکردند. علاوه بر آن هیچ آسیبی در DNA سلول‌های بافت‌های ذکر شده نیز دیده نشد. تنها تفاوت معناداری که آنها در گزارش خود ذکر نمودند افزایش میزان mRNA پروتئین شوک حرارتی Hsp70 در این بافت‌ها بود. همین محققین در سال ۲۰۱۴ از تغییر تعادل سیستم آنتی‌اکسیدانی بافت‌های طحال، تیموس و غدد لنفاوی موش‌های صحرایی نر بعد از مصرف آسپارتام به مدت ۹۰ روز با دوز ۴۰ mg/kg/day گزارش داده بودند (۵۸).

در مطالعه دیگر که در دانشگاه تگزاس ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۹۶ انجام شده بود، به محیط‌کشت سلولی حاوی ماکروفاژ، آسپارتام اضافه کردند. نتایج این

جدول ۳- خلاصه‌ای از مطالعات آزمایشگاهی جهت بررسی اثرات اسپارتام بر محتویات ژنتیکی در سلول‌های مختلف (۶۵)

Summary of *in vitro* genotoxicity studies with aspartame.

Test system	Target cells	Concs. tested	Test conditions	Results	Reference
Bacterial mutation (Ames) assays	<i>S. typhimurium</i> TA1535, TA1537, TA98, TA1538, TA100	10–5000 µg/plate	Pre-incubation method – & + S9 in 2 independent expts. Plate incorporation – & + S9 in 2 independent expts., though data from only 1 expt. reported	No toxicity; no significant increases in revertant counts	Mohiary (1978)
	<i>S. typhimurium</i> TA98, TA100	50–2000 µg/plate		No significant increases in TA98 revertant counts; small increases (max. 1.4-fold, not dose-related) in TA100 revertants not considered biologically significant	Rencuzogullari et al. (2004)
	<i>S. typhimurium</i> TA1535, TA1537, TA98, TA97, TA100	100–10,000 µg/plate	Pre-incubation method – S9 and with 10% hamster liver S9; 30% hamster liver S9; 10% rat liver S9 and 30% rat liver S9; 2 independent expts.	Negative results in TA100, TA1535, TA1537 and TA98 under all test conditions. At 10,000 µg/plate in TA97 (30% rat liver S9) a 1.4-fold increase in revertants was judged equivocal.	NTP (2005)
Chromosomal aberrations (CA)	<i>S. typhimurium</i> TA97a, TA100	10–1000 µg/plate	Plate incorporation method – & + S9, single experiment	No toxicity; no increases in revertant counts	Bandyopadhyay et al. (2008)
	Human peripheral blood lymphocytes from 2 male & 2 female donors	500–2000 µg/mL	24 or 48 h treatment in the absence of S9 inducing up to 34 or 56% mitotic inhibition;	Statistically significant increases in CA frequency at all 3 test concentrations after both treatment periods	Rencuzogullari et al. (2004)
Micronuclei (MN)	Human peripheral blood lymphocytes from 2 male & 2 female donors	500–2000 µg/mL	400 cells/conc. scored for CA 24 or 48 h treatment in the absence of S9; cytochalasin B present for the final 24 h; 8000 binucleate cells/conc. scored for MN	A small (1.9–2.2-fold) but statistically significant increase in MN frequency seen at 2000 µg/mL for both treatment periods.	Rencuzogullari et al. (2004)
Unscheduled DNA synthesis (UDS)	Cultured hepatocytes from male Sprague-Dawley rats.	5 and 10 mM	20 h treatment; 150 cells/conc. scored for autoradiographic grains	Net nuclear grain counts all < zero, so no induction of UDS	Jeffrey and Williams (2000)
Mitotic recombination	<i>Aspergillus nidulans</i> diploid strain UT448/UT196	100–12,000 µg/mL	6 days treatment; 30–69 mitotic haploids per link interval at each conc.	Increases in the occurrence of haploid mitotic segregants and mitotic recombination at concs. of 800 and 1000 µg/mL	Cebara et al. (2003)

فنیل‌آلانین، اسپاراتات نیز استفاده شده بود که نتایج یکسانی داشت (۶۱).

میکروفلور حاضر در دستگاه گوارش انسان (خصوصاً در روده بزرگ) نقش‌های مهمی در بدن دارند. آن‌ها برخی ملکول‌های حیاتی که بدن خود قادر به سنتز آن نیست (ویتامین‌ها، برخی اسیدهای چرب کوتاه زنجیر) را تا حدی برای بدن تامین می‌کنند. از طرفی امروزه حضور آنها در دستگاه گوارش از لحاظ ایمنولوژی نیز اهمیت دارد. اهمیت این امر را در این می‌توان یافت که کودکانی که بعد از تولد در محیط‌های بیش از معمول

تمیز و بهداشتی رشد می‌کنند شمار میکروفلورهای روده آن‌ها کمتر از هم سالان خود هستند و دستگاه ایمنی حساس‌تر و معمولاً مستعدتر به آلرژی و برخی بیماری‌های عفونی دستگاه گوارش دارند. از این رو هرگونه تغییر در تعداد و یا نوع این میکروفلور می‌تواند اثرات زیادی را بر سلامت بدن گذارد. همچنین حضور این میکروفلور در دستگاه گوارش که برای باقی‌ماندن در این محیط با باکتری‌های بیماری‌زا رقابت می‌کند و مانع قرارگیری آنها در دستگاه گوارش می‌شوند نیز، از دیگر جنبه‌های مهم ایمنی میکروفلور طبیعی دستگاه

جدول ۲- ادامه

Test system	Target cells	Concn. tested	Test conditions	Results	Reference
Micronuclei (MN)	Bone marrow of male F344/N rats (5 males/group)	500-2000 mg/kg/day by gavage	3 daily doses; marrow sampled 24 h after last dose; 2000 PCE/ rat scored for MN	No clear evidence of bone marrow toxicity; no increases in MN frequency in treated animals	NTP (2005)
	Peripheral blood of male & female Tg.AC hemizygous, p53 haploinsufficient, and Cdkn2a deficient mice (12-15 mice/group)	3125-50,000 ppm in diet	9 months dosing; 2000 NCE/ mouse scored for MN	No significant increases in MN/NCE in Tg.AC hemizygous or Cdkn2a deficient mice; or in male p53 haploinsufficient mice. Small but statistically significant increase and significant trend test for MN/NCE at 50,000 ppm in female p53 haploinsufficient mice	NTP (2005)
	Bone marrow and blood of Swiss albino mice (group size not given)	250-1000 mg/kg by gavage	Single dose; animals sacrificed 24, 48 & 72 h after dosing; 2000 PCE/animal from bone marrow or blood scored for MN	MN frequencies increased significantly (>3-fold) in the 455 mg/kg group at 24 h, but showed a dose-response at 48 and 72 h, reaching >4-fold in the 1000 mg/kg group. A similar pattern of results was seen in blood, although significant increases in MN frequency were seen in the 500 and 1000 mg/kg groups at 24 h	Kamath et al. (2010)
Chromosomal aberrations (CA)	Bone marrow of Holzman strain rats (10 males/group)	400-1600 mg/kg/day by gastric intubation	5 daily doses; bone marrow sampled approx. 29 h after the last dose; 500 cells/group scored for CA	No statistically significant increases in CA	Bowles (1970)
	Bone marrow (unconfirmed) of C57BL/6 mice	15 and 150 mg/kg by oral route	5 daily doses; no other detail established	No clastogenic response, but no details	Durnev et al. (1995) - paper in Russian
	Bone marrow of Swiss Albino mice (5 males/group)	3.5-350 mg/kg of aspartame, but combined with 1.5-150 mg/kg of acetylcholine K; oral route	Single dose; mice sacrificed 18 h after dosing; 250 cells/group scored for CA	2-fold increase in CA in the top dose group but was not statistically significant and probably fell within the normal range. The overall conclusion was that the mixture of sweeteners was not clastogenic	Mukhopadhyay et al. (2000)
	Bone marrow of Swiss albino mice (group size not given)	250-1000 mg/kg by gavage	Single dose; animals sacrificed 24, 48 & 72 h after dosing; 100 cells/animal scored for CA	Significant increases in CA frequencies at the top 3 dose levels at 24 h and at all dose levels at 48 and 72 h	Kamath et al. (2010)
	Bone marrow of Swiss albino mice (5 males/group)	3.5-350 mg/kg by gavage	Single dose; animals sacrificed 24 h after dosing; 250 cells/group scored for CA	Some small reductions in MI seen possibly indicating bone marrow toxicity; statistically significant increases in CA frequency at 35 mg/kg (2x control) and 350 mg/kg (2.5x control)	Aisichahani (2010)
DNA damage (alkaline comet) assays	Glandular stomach, colon, liver, kidney, urinary bladder, lung, brain and bone marrow of ddY mice (4 males/group)	2000 mg/kg; oral route	Single dose; animals sacrificed 3 & 24 h after dosing; 50 nuclei/organ/animal scored for comet (tail length)	No increases in DNA migration were seen in any of the 8 tissues	Sasaki et al. (2002)
	Bone marrow cells of Swiss albino mice (4 males/group)	7-35 mg/kg by gavage	Single dose; animals sacrificed 18 h after dosing; 50 cells/animal scored (% tail DNA & tail length)	Small but statistically significant increases in % tail DNA (2.2-fold) and tail length (>10-fold) in top dose group	Bandyopadhyay et al. (2008)

گوارش است. البته تاثیرات میکروفلور دستگاه گوارش بر انواع بیماری‌های متابولیک نیز اثبات شده است که به محصولات تولیدی آنها و جذب این محصولات به وسیله سلول‌های مخاطی مربوط است (۶۲).

به دنبال مصرف مداوم آسپارتام در موش‌های صحرایی نر، میکروفلور دستگاه گوارش تغییر می‌کند. در پژوهشی طی ۱۰ هفته مدفوع حیوانات تیمار شده با دوزهای مختلف آسپارتام و همچنین گروه کنترل را جمع‌آوری کردند و سپس با انجام آزمایش‌های مولکولی (qRT-PCR) نشان دادند جمعیت کل باکتری‌های میکروفلور دستگاه گوارش در گروه مصرف‌کننده آسپارتام

افزایش معناداری داشته است، به‌خصوص در تعداد باکتری‌های *leptum Clostridium* و *Enterobacteriaceae*. این افزایش تعداد باکتری با افزایش سطح پروبیونات تولیدی آنها که وارد جریان خون می‌شود نیز تناسب داشت. افزایش سطح پروبیونات خون می‌تواند از عوامل موثر در کاهش حساسیت به انسولین نیز باشد. از دیگر یافته‌های این پژوهش این است که اگر گروه تحت تیمار با آسپارتام غذای پرکالری نیز دریافت کند، موجب کاهش جمعیت باکتری‌های *Clostridium Clust XI* می‌گردد که با کاهش بوتیرات تولیدی باکتریایی همراه است (۶۳).

جدول ۴- خلاصه‌ای از مطالعات خاصیت سرطان زایی آسپارتام (۶۹)

Summary of carcinogenicity studies of aspartame.						
Type of study	Strain & species (number per group)	Route/dose/duration	Parameters evaluated	Carcinogenic Findings	Comments	Reference
Seale Studies						
Oral feeding carcinogenicity study in rats	ICR Swiss Mice (56/sex/group) (72/sex/control)	Diet 0, 1000, 2000, 4000 mg/kg bw/day/104 weeks	Appearance, behavior, body weight, food consumption, survival, hematology, blood chemistry, urine analysis, ophthalmoscopic exam, gross necropsy, organ weights	No increases in tumor incidences	NOAEL highest dose tested	Seale E75 (Seale, 1974b)
Oral feeding carcinogenicity study in rats	Charles River Albino rats (40/sex/group) (60/sex/control)	Diet 0, 1000, 2000, 4000 or 6000-8000 mg/kg bw/day/104 weeks [high dose was given 6000 mg/kg bw/day from week 0 of study] to 16, 7000 mg/kg bw from week 16-44 and 8000 mg/kg bw/day from week 44-104	Appearance, behavior, body weight, food consumption, survival, hematology, blood chemistry, urine analysis, ophthalmoscopic exam, gross pathology, organ weights, histopathology, tumor incidence	No increases in tumor incidences	Specific findings of intracranial neoplasms: astrocytoma, astrocytoma + ependymal oligodendroglioma; ependymoma; meningioma; Sarcoma; undifferentiated glioma	Seale E33-34 (Seale, 1977)
Oral feeding carcinogenicity rat study from fetal life to 194 weeks	Charles River Albino rats (40/sex/group; 60/sex/control)	Diet 0, 2000, 4000 mg/kg/day/144 weeks litter, lactation, 104 weeks	Appearance, behavior, body weight, food consumption, survival, hematology, blood chemistry, urine analysis, ophthalmoscopic exam, gross pathology, organ weights, histopathology, tumor incidence & liver phenylalanine hydroxylase activity	No increases in tumor incidences	Specific findings of intracranial neoplasms: astrocytoma, ependymoma, meningioma	Seale E70 (Seale, 1974b)
Bahl						
Oral feeding study in rats - limited to brain cancer	SIC-Wistar rats (86/sex/group) 6 weeks of age	Diet 0, 1, 2, 4 g/kg/day Interim sacrifice 10/sex/group at 25 weeks 59 or 60/sex/group at 104 weeks	Survival, gross pathology, and histopathology focused on brain tumors	No increase in brain tumor incidence	Specific findings of astrocytoma, atypical astrocytoma, oligodendroglioma, ependymoma. Tumors were primarily identified in rats that had died during the study or were terminated in extremis.	Bahl, 1981
NTP transgenic mouse						
Oral feeding carcinogenicity study in transgenic mice	Genetically modified Tg.AC Hemizygous mice (15/sex/group)	Diet 0, 3125, 6250, 12500, 50000 ppm/40 weeks	Clinical observations, body weight, food consumption, survival, organ weights, gross necropsy, histopathology	NTP concluded that aspartame did not cause cancer	Transgenic mouse model is more susceptible to develop tumors and at an early stage	NTP, 2005
Oral feeding carcinogenicity study in transgenic mice	Genetically modified [B6.129-Tp53 ^{tm1.1} NS] haploinsufficient mice (15/sex/group)	Diet 0, 3125, 6250, 12500, 50000 ppm/40 weeks	Clinical observations, body weight, food consumption, survival, organ weights, gross necropsy, histopathology	NTP concluded that aspartame did not cause cancer	Transgenic mouse model is more susceptible to develop tumors and at an early stage	NTP, 2005
Oral feeding carcinogenicity study in transgenic mice	Genetically modified [B6.129-Cdca2a ^{fl/fl} Cre] mice (15/sex/group)	Diet 0, 3125, 6250, 12500, 50000 ppm/40 weeks	Clinical observations, body weight, food consumption, survival, organ weights, gross necropsy, histopathology	NTP concluded that aspartame did not cause cancer	Transgenic mouse model is more susceptible to develop tumors and at an early stage	NTP, 2005

Bodler et al.,
2017

ارتباط مصرف آسپارتام و محتوای ژنتیکی سلول‌ها

Kashanian S. و همکاران در سال ۲۰۱۳ که به بررسی پیوندهای احتمالی تشکیل شده بین DNA و آسپارتام در شرایط مختلف آزمایشگاهی پرداختند، گزارشی از تشکیل پیوندی بین آسپارتام و DNA ندادند و تنها متذکر شدند که آسپارتام می‌تواند با رنگ Hoechst 33258 که در شیار DNA قرار می‌گیرد رقابت کند و احتمالاً آسپارتام تمایلی برای قرارگیری در شیار DNA دارد. آزمایشات فراوان زیادی در جهت

بررسی اثر آسپارتام بر ماده ژنتیکی در باکتری‌ها، محیط کشت سلولی و مدل‌های حیوانی انجام شده است و همگی بر این موضوع که آسپارتام خاصیت Genotoxicity ندارد توافق دارند (جدول ۳). علاوه بر این محیط‌های معمول و تست جهش‌زا بودن یا نبودن آسپارتام، در سال‌های اخیر در محیط کشت سلول‌های زایا و همچنین بر سلول‌های جنسی (اسپرم و تخمک) نیز انجام شد که تایید کننده همان پاسخ‌های گذشته است. در بسیاری از این آزمایشات برای حصول اطمینان بیشتر چندین برابر دوز معمول آسپارتام که در این گونه

جدول ۴- ادامه

Type of study	Strain & species (number per group)	Route/dose/duration	Parameters evaluated	Carcinogenic Findings	Comments	Reference
Oral feeding carcinogenicity study in rats	Sprague-Dawley Rats (100-150/sex/group) 8 weeks old at study initiation	Diet - ad libitum 0, 80, 400, 2000, 10000, 50000, 100000 ppm (-0, 4, 20, 100, 500, 2500, 50000 mg/kg bw/day)	Clinical observation, body weight, drinking water and feed consumption, complete necropsy, histopathology, survival	carcinomas of renal pelvis and ureter (positive trend in F); malignant Schwannomas of peripheral nerves (positive trend in M - observed in 9 treated F vs 0 F control); lymphomas-leukemias (positive trend in M, sign. increase in high dose F)		Soffritti et al., 2005, 2006, 2008 Belonggi et al., 2006
Oral feeding carcinogenicity rat study from fetal life to natural death	Sprague-Dawley rats (70-95/sex/group)	Diet/0, 400, 2000 ppm (0, 20, 100 mg/kg bw/day) /Prenatal (from GD 12) to spontaneous death (last animal died at 144 weeks)	Clinical observation, body weight, drinking water and feed consumption, complete necropsy, histopathology, survival	Lymphomas/leukemia (sign. increase high dose M, sign. trend in F sign. increase high dose F) Mammary cancer (sign. trend, sign. increase high dose F)		Soffritti et al., 2007, 2008 Chozanto et al., 2011
Oral feeding carcinogenicity mouse study from fetal life to natural death	Swiss mice (63-122/sex/group)	Diet/0, 2000, 8000, 16000, 32000 ppm (0, 242, 987, 1919, 3999 mg/kg bw/day)/Prenatal (from GD 12) to 139 weeks	Clinical observation, body weight, drinking water and feed consumption, complete necropsy, histopathology, survival	Hepatocellular carcinomas (sign. trend in M, sign. increase at two highest doses M) Alveolar/bronchiolar carcinomas (sign. trend in sign. increase high dose M); no sign. findings in F		Soffritti et al., 2010
Oral drinking water carcinogenicity mouse study from fetal life	C57BL/6 B6J, Tg Mice (12 M separate; 13 M control)	Drinking water/0 or 0.035% v/v urea (GD no specified) to 21 weeks of age	Focused on pancreatic cancer as time to first tumor, tumor growth rate; assessment based on MRI	No effect on pancreatic adenocarcinoma development		

Research papers from the Ramazzini lab also utilize total number of benign and malignant tumors regardless of origin or site, to report on total tumor bearing animals. bw = body weight; F = female; GD = gestation day; M = male; NOEL = no observed adverse effect level.

آزمایشات تعریف شده است استفاده کرده‌اند (۶۴-۶۵).

آیا اسپارتام کارسینوژن (سرطان زا) است؟

در سال‌های گذشته مطالعات ضد و نقضی در مورد خاصیت سرطان‌زایی اسپارتام ارائه شده است. اکثر مطالعات خاصیت سرطان‌زایی برای اسپارتام را مردود دانسته‌اند (جدول ۴). تنها چند مطالعه صورت گرفته در ایتالیا نتایج عکس ارائه داده‌اند. با توجه به این نتایج در آخرین اعلامیه رسمی FDA آمریکا در سال ۲۰۰۷ و همچنین اعلامیه اداره ایمنی مواد غذایی اروپا (EFSA) در سال ۲۰۰۹ دلیل علمی قابل قبولی برای

کارسینوژن دانستن اسپارتام وجود ندارد. اما هر دو سازمان مذکور خود را متعهد دانسته‌اند که در صورت ارائه مشاهدات علمی معتبر که نشان دهنده کارسینوژن بودن اسپارتام باشد در هر زمانی این مطلب را ارائه دهند. اما تاکنون در سال ۲۰۱۸ هر دو سازمان همچنان اعلامیه‌های رسمی قبلی خود را معتبر می‌دانند (۶۶).

Soffritti Morando و همکاران در مطالعه Systematic review خود که در سال ۲۰۱۴ منتشر کردند اسپارتام را با توجه به شواهد علمی موجود

است نیز خطر ابتلا به سرطان‌های مختلف را به شکل معناداری افزایش می‌دهد. سرطان‌های خون، دستگاه ادراری، اپیتلیوم بویایی، مغز، دستگاه عصبی محیطی و چندین تومور بدخیم دیگر در این مطالعه بیان شده است (۷۲). Morando S. و همکاران یک سال بعد از گزارش اول خود در سال ۲۰۰۷ مطالعه دیگری را ارائه دادند و در آن بعد از روز دوازدهم حاملگی موش‌های صحرایی ماده، که اکثر بافت‌ها و اندام‌های جنین آنها تشکیل شده بود؛ به میزان مشخص آسپاراتام به غذای آنها اضافه کردند. بعد از به دنیا آمدن نوزادان و اتمام دوره شیرخوارگی آنها، برای نوزادان جیره غذایی حاوی آسپاراتام با همان دوزی که مادرشان در دوران حاملگی آسپاراتام دریافت می‌کردند مهیا گردید و از آنها تا زمان مرگ طبیعی مراقبت شد. بعد از مرگ آخرین حیوان (۱۴۴ هفته) نمونه‌گیری‌ها انجام شد و فقط از لحاظ پاتولوژی بررسی گردید و نتایج به شکل معناداری مشخص کرد ابتلا به انواع تومورهای بدخیم در هر دو جنس نسبت به گروه کنترل افزایش یافته است (۷۳).

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ذکر شده، استفاده از شیرین‌کننده آسپاراتام به عنوان جایگزینی برای شکر خصوصا در بین افراد مبتلا به چاقی مرضی و دیابت و بیماری‌های وابسته به آنها و افرادی که تمایل به کاهش وزن اضافه خود دارند، محصولی ممتاز محسوب می‌شود و البته شرکت‌های تجاری با تبلیغات گسترده به این موضوع دامن می‌زنند (۷۴-۷۶).

برای بسیاری از شرکت‌های تولیدکننده محصولات شیرینی و انواع نوشیدنی‌ها، استفاده از آسپاراتام از نظر اقتصادی بسیار به صرفه است. به عنوان مثال در بازار ایران هر کیلوگرم شکر در سال جاری قیمتی در حدود ۲۸۰۰۰ ریال دارد این در حالی است که قیمت هر کیلو آسپاراتام در همین بازار ۲۷۰۰۰ ریال است. اما در محاسبه سود اقتصادی آن باید در نظر گرفت که هر مولکول آسپاراتام ۱۸۰ تا ۲۰۰ برابر شیرین‌تر از شکر می‌باشد و بنابراین هر گرم آسپاراتام معادل ۱۸۰ تا ۲۰۰ گرم شکر، طعم شیرینی ایجاد می‌کند که نتیجه آن سود بسیار بالای اقتصادی برای تولیدکنندگان مواد غذایی است.

سرطان‌زا ندانستند (۶۷). Szimonetta Lohner. و همکاران در سال ۲۰۱۷ نیز با ارائه مقاله مشابه دیگری به شکل Systematic review که در آن ۳۷۲ مقاله معتبر منتشر شده در پایگاه‌های مختلف علمی را آنالیز کرده بودند نیز بر غیر کارسینوژن بودن آسپاراتام تاکید کردند (۶۸). Lois Haighton و همکاران در مقاله Systematic review که در سال ۲۰۱۸ در مجله Regulatory Toxicology and Pharmacology به چاپ رسانده‌اند، گزارش کردند دلیل قابل قبولی برای کارسینوژن دانستن آسپاراتام وجود ندارد (جدول ۴) (۶۹).

در سال ۲۰۱۷ James Dooley و همکاران میزان تاثیرگذاری آسپاراتام بر سرعت پیشرفت، گسترش و رشد سرطان پانکراس را در موش سوری مورد بررسی قرار دادند که در نهایت گزارش دادند بین مصرف آسپاراتام و Stevis (نوعی شیرین‌کننده گیاهی) و رشد و گسترش سرطان پانکراس ارتباط مستقیمی وجود ندارد (۷۰).

Muthuraman Pandurangan و همکاران در سال ۲۰۱۵ که اثر غلظت‌های مختلف آسپاراتام بر رده سلولی HeLa cells را بررسی کردند تنظیم کاهشی بیان mRNA ژن سرکوب‌کننده تومور P53 و ژن پروآپوپتیک bax، افزایش تنظیمی بیان mRNA ژن bcl-2 را گزارش کردند. علاوه بر آن کاهش mRNA ژن های Ki 67 و PCNA و ترجمه پروتئین‌های آنها را نیز ذکر کردند و نهایتاً نتیجه گیری نمودند که آسپاراتام می‌تواند موجب کاهش نسبی روند آپوپتوز در سلول‌های سرطانی HeLa cells شود. در این گزارش نویسنده و همکاران خود نتوانسته‌اند مکانیسم مولکولی مشخصی برای موارد ذکر شده را پیشنهاد دهند (۷۱). تنها دو مطالعه در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ ارتباط مصرف آسپاراتام و سرطان در موش صحرایی (رت) خبر می‌دهد؛ هر دو مطالعه در ایتالیا توسط Morando Soffritti و همکارانش صورت گرفته است و گزارش هر دوی آنها در Environmental Health Perspectives منتشر شده است. در گزارشی که Morando Soffritti و همکارانش در سال ۲۰۰۶ ارائه کردند، اطلاعات حاکی از آن است که حتی مصرف مقدار مجاز روزانه آسپاراتام که در آمریکا (۵۰ mg/kg bw) و در اروپا (۴۰ mg/kg bw)

احتمالا تا چند سال آینده، همچنان گزارش‌های ضد و نقیض بخش اصلی مطالعات مرتبط با آسپارتام را تشکیل دهند اما تعداد مطالعات تاکیدکننده بر اثرات مضر آسپارتام (خصوصا در مصرف دراز مدت) سهم بیشتری را به خود اختصاص خواهد داد.

References

1. Aspartame: National Center for Biotechnology Information. (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/aspartame>.) 28 March 2018.
2. EU Food Improvement Agents. Aspartame: (<http://data.europa.eu/eli/reg/2012/231/oj>) 28 March 2018.
3. Rycerz K, Jaworska-Adamu JE. Effects of aspartame metabolites on astrocytes and neurons. *Folia Neuropathol*; 2013. 51(1):10-17.
4. Chem I Dplus. Aspartame: (<https://chem.nlm.nih.gov/chemidplus/sid/00228394> 70) 29 March 2018.
5. Gougeon R, Spidel M, Lee K, Field CJ. Canadian Diabetes Association National Nutrition Committee Technical Review: non-nutritive intense sweeteners in diabetes management. *Can J Diabetes*; 2004.28:385-399.
6. Joint Expert Committee on Food Additives. Aspartame. (http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecval/jec_165.htm) 11 Mar 2003.
7. European Food Safety Authority (EFSA). AsPartame/E951. (<https://www.efsa.europa.eu/en>.) 29 March 2018.
8. Murakami Y, Hirata M, Hirata A. Mathematical approach to thermolysin-catalyzed synthesis of aspartame precursor. *Journal of fermentation and bioengineering*; 1996. 82(3):246-52.
9. Paul F, Auriol D, Monsan P. Direct Enzymatic Synthesis of Aspartamea. *Enzyme Engineering*; 1988: 542 (1): 351-355.
10. Tsuchiyama S, Doukyu N, Yasuda M, Ishimi K, Ogino H. Peptide Synthesis of Aspartame Precursor Using Organic-Solvent-Stable PST-01 Protease in Monophasic Aqueous-Organic Solvent Systems. *Biotechnology Progress*; 2007: 23(4): 820-823.
11. Tang XY, Wu B, Ying HJ, He BP. Biochemical Properties and Potential Applications of a Solvent-Stable Protease from the High-Yield Protease Producer *Pseudomonas aeruginosa* PT121. *Appl Biochem Biotechnol*; 2010. 160:1017-1031.
12. Furukawa S, Hasegawa K, Fuke I, Kittaka K, Nakakoba T, Goto M, Kamiya N. Enzymatic synthesis of Z-aspartame in liquefied amino acid

تنها دو مطالعه که هر دو به وسیله Morando Soffritti و همکارانش در سال های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ در ایتالیا صورت گرفته است و گزارش هر دو کار در *Environmental Health Perspectives* منتشر شده است از ارتباط مصرف آسپارتام و سرطان در موش صحرایی (رت) خبر می‌دهد و به جز این دو مطالعه، گزارش‌های معتبر دیگر علمی مبنی بر سرطان‌زا بودن آسپارتام منتشر نشده است؛ لذا سازمان‌های بین المللی کنترل کننده استانداردهای مواد غذایی هنوز استفاده از آسپارتام را مجاز می‌دانند. اما با توجه به گزارش Jotham Suez و همکارانش در سال ۲۰۱۴ که در مجله *Nature* منتشر شده است؛ بین مصرف آسپارتام و به دنبال آن تغییر میکروفلور دستگاه گوارش ارتباط وجود دارد. تغییرات زیاد در فرآیندهای متابولیسمی تمام بدن از جمله عدم تحمل گلوکز و مقاومت در برابر انسولین، در نتیجه تغییرات ایجاد شده در تولیدات میکروفلور به دنبال مصرف آسپارتام رخ خواهد داد. این نتایج ارتباط مستقیم قوی با سندروم متابولیک دارد. مطالعه Marie S و همکاران که همان نتایج گزارش قبل را تایید می‌کرد. خطر استفاده طولانی مدت آسپارتام که می‌تواند منجر به سندروم متابولیک شود را قوی‌تر نمود (۷۷). باید توجه داشت که یکی از عواقب جدی سندروم متابولیک مستعد شدن بدن به ابتلا انواع سرطان‌ها و بیماری‌های قلبی است (۷۷-۷۸). به طور کلی مطالعاتی که مربوط به قبل از سال ۲۰۰۵ می‌باشد حاکی از مفید بودن آسپارتام می‌باشد، اما مطالعات در بازه زمانی سال های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ بسیار حالت ضد و نقیض پیدا می‌کنند و در بین پژوهشگران یک دو دستگی طرفداران استفاده از آسپارتام و مخالفان استفاده از آن را شکل می‌دهد. این شکاف در چهار سال گذشته بیشتر به چشم می‌آید که مخالفان بیشتر از اثرات مضر مصرف آسپارتام در دراز مدت خبر می‌دهند.

نویسندگان این مقاله در مجموعه استفاده از آسپارتام را نمی‌توانند نهي کنند؛ اما استفاده دراز مدت از آن را به عنوان جایگزینی مناسب برای شکر نیز توصیه نمی‌کنند و در سبک زندگی خود ترجیح بر عدم مصرف این شیرین کننده مصنوعی را دارند و با توجه به روند مطالعات و نتایج حاصل از آن‌ها پیش‌بینی می‌کنند

substrates. *Biochem Engineer J*; 2013 15:70:84-7.

14. Yang CP, Su CS. Effects of solvents and additives on the reaction of N-(benzyloxycarbonyl)-L-aspartic anhydride with L-phenylalanine methyl ester (synthesis of aspartame). *The Journal of Organic Chemistry*; 1986.51(26):5186-91.

15. Declerck V, Nun P, Martinez J, Lamaty F. Solvent-Free Synthesis of Peptides. *Angew Chem Int*; 2009. 48: 9318 –9321.

16. Stephen L. Burgert, Dean W. Andersen, Lewis D. Stegink, Hisanao Takeuchi, and Harold P. Schedl. Metabolism of Aspartame and Its L-Phenylalanine Methyl Ester Decomposition Product by the Porcine Gut. *Metabolism*; 1991.40(6): 612-618.

17. Information in the package leaflet for aspartame in the context of the revision of the guideline on 'Excipients in the label and package leaflet of medicinal products for human use' (CPMP/463/00 Rev. 1) EMA/CHMP/134648/2015. Available at: https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/draft-information-package-leaflet-aspartame-context-revision-guideline-excipients-label-package/463/00-rev-1_en.pdf

18. Tobey NA, Heizer WD. Intestinal hydrolysis of aspartylphenylalanine -The metabolic product of aspartame. *Gastroenterology*; 1986.91(4):931-7.

19. Stephen L. Burgert, Dean W. Andersen, Lewis D. Stegink, Hisanao Takeuchi, and Harold P. Schedl. Metabolism of Aspartame and Its L-Phenylalanine Methyl Ester Decomposition Product by the Porcine Gut. *Metabolism*; 1991. 40(6): 612-618.

20. Humphries P, Pretorius E, Naude H. Direct and indirect cellular effects of aspartame on the brain. *European Journal of Clinical Nutrition*; 2008.62: 451–462. Available at: <https://www.nature.com/articles/1602866>

21. <http://www.robertbarrington.net/s=aspartame>. ۲۶ April 2018.

22. Horton V L, Higuchi M A, Rickert D E. Physiologically based pharmacokinetic model for methanol in rats, monkeys, and humans. *Toxicology and Applied Pharmacology*; 1992.117(1):26-36.

23. Barceloux DG, Randall Bond G, Krenzelok EP, Cooper H, Allister Vale J. American Academy of Clinical Toxicology practice guidelines on the treatment of methanol poisoning. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*; 2002.40(4):415-46.

24. Palese M, Tephly T R. Metabolism of formate in the rat. *Journal of Toxicology and Environmental Health*; 2009.1(1): 13-24.

25. Filer LJ, Stegink LD. Aspartame Metabolism in Normal Adults, Phenylketonuric Heterozygotes, and Diabetic Subjects. *Diabetes Care*; 1989. 12(1):67-74.

26. Stephen L. Burgert, Dean W. Andersen, Lewis D. Stegink, Hisanao Takeuchi, and Harold P. Schedl.

Metabolism of Aspartame and Its L-Phenylalanine Methyl Ester Decomposition Product by the Porcine Gut. *Metabolism*; 1991.40(6): 612-618.

27. Ranney RE, Oppermann JA, Muldoon E, McMahon F. Comparative metabolism of aspartame in experimental animals and humans. *Journal of Toxicology and Environmental Health*; 1976. 2:441-451.

28. Robert K. Murray, David A Bender, Kathleen M. Botham, Peter J. Kennelly, Victor W. Rodwell, P. Anthony Weil. *Harper's Illustrated Biochemistry*; 2015. Chapter 29, 30th ed. USA: The McGraw-Hill Companies.

29. Hjelle JJ, Dudley RE, Marietta MP, Sanders PG, Dickie BC, Brisson J, Kotsonis FN. Plasma concentrations and pharmacokinetics of phenylalanine in rats and mice administered aspartame. *Pharmacology*; 1992.44(1):48-60.

30. Butchko HH, Stargel WW, Comer CP, Mayhew DA, Benninger C, Blackburn GL, de Sonneville LM, Geha RS, Hertelendy Z, Koestner A, Leon AS. Aspartame: review of safety. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*; 2002 Apr 1. 35(2):S1-93.

31. An Approach to Defining the Upper Safe Limits of Amino Acid Intake *J Nutr. J Nutr | © 2008 American Society for Nutrition*; 2008.138(10):1996S-2002S

32. Thomas M. Devlin. *Textbook of Biochemistry with Clinical Correlations*, 7th ed. New York, USA: Wiley-Liss, Inc; 2011.

33. Palmnäs MS, Cowan TE, Bomhof MR, Su J, Reimer RA, Vogel HJ, et al. Low-dose aspartame consumption differentially affects gut microbiota-host metabolic interactions in the diet-induced obese rat. *PloS One*; 2014.9(10):e109841.

34. European Commission. Health and Consumer Protection Directorate-General, Scientific Committee on Food. Opinion of the scientific committee on food: update on the safety of aspartame. SCF; 2002. December 2002. http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html

35. Stegink L D, Filer J, George Jr, Baker L. Plasma, Erythrocyte and Human Milk Levels of Free Amino Acids in Lactating Women Administered Aspartame or Lactose. *J Nutr*; 1979. 109(12): 2173–2181.

36. Onaolapo A Y, Onaolapo O J, Nwuhac P N. Alterations in behaviour, cerebral cortical morphology and cerebral oxidative stress markers following aspartame ingestion. *Journal of Chemical Neuroanatomy*; 2016.78(1): 42-56.

37. Amchra FZ., Chaouqi S, Khiraoui A, Benhmimou A. Effect of Stevia rebaudiana, sucrose and aspartame on human health: A comprehensive review. *JMPS*; 2018. 6(1): 102-108.

38. Ashok L, Sheeladev R. Biochemical responses

and mitochondrial mediated activation of apoptosis on long-term effect of aspartame in rat brain. *Redox Biology*; 2014.

39. Rycerz K, Jaworska-Adamu JE. Effects of aspartame metabolites on astrocytes and neurons. *Folia Neuropathol*; 2013. 51(1):10-17.

40. Baothman O, Moselhy SS, Al-Shehri SH, AL-Malki AL. Impact of Aspartame Consumption on Neurotransmitters in Rat Brain. *Afr J Tradit Complement Altern Med*; 2017.14 (5): 89-95.

41. Abhilash M, Alex M, Mathews VV, Nair RH. Chronic Effect of Aspartame on Ionic Homeostasis and Monoamine Neurotransmitters in the Rat Brain. *Int J Toxicol*; 2014. 33(4):332-341.

42. Saleh AB. Synergistic effect of N-acetyl cysteine and folic acid against aspartame- induced nephrotoxicity in rats. *International Journal of Advanced Research*; 2014. 2(5): 363-373.

43. Tootian Z, Limouei H, Sheibani MT, Fazelipour S, SalarAmoli J. Morphometrical and histometrical changes of kidney in immature mice exposed to aspartame. *Journal of Veterinary Research*; 2013.68(2):159-165. (Persian)

44. Finamor I. N-acetylcysteine protects the rat kidney against aspartame-induced oxidative stress. *Free Radical Biology and Medicine*; 2014.75:S30.

45. Butchko HH, Stargel WW, Comer CP, Mayhew DA, Benninger C, Blackburn GL, de Sonnevile LM, Geha RS, Hertelendy Z, Koestner A, Leon AS. Aspartame: review of safety. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*; 2002.35(2):S1-93.

46. Finamor I, Pérez S, Bressan CA, Brenner CE, Rius-Pérez S, Brittes PC, Cheiran G, Rocha MI, da Veiga M, Sastre J, Pavanato MA. Chronic aspartame intake causes changes in the trans-sulphuration pathway, glutathione depletion and liver damage in mice. *Redox biology*; 2017. 1(11):701-7.

47. Iyaswamy A, Rathinasamy S. Oxidant stress evoked damage in rat hepatocyte leading to triggered nitric oxide synthase (NOS) levels on long term consumption of aspartame. *JFDA*; 2015.23(4):679-691.

48. Iyaswamy A, Kammella AK, Thavasimuthu C, Wankupar W, Dapkupar W, Shanmugam S, et al. Oxidative stress evoked damages leading to attenuated memory and inhibition of NMDAR-CaMKII-ERK/CREB signalling on consumption of aspartame in rat model. *JFDA*; 2018.26(2):903-16.

49. William N, Fares N, Nimer A. Soft drinks consumption and nonalcoholic fatty liver disease. *World Journal of Gastroenterology*; 2010.16(21): 2579-2588.

50. Kamenickova A, Pecova M, Bachleda P, Dvorak Z. Effects of artificial sweeteners on the AhR- and GR-dependent CYP1A1 expression in primary human hepatocytes and human cancer cells. *Toxicology in Vitro*; 2013. 27(8):2283-2288.

51. Higgins K, Considine R, Mattes RD.

Aspartame Consumption for 12 Weeks Does Not Affect Glycemia, Appetite, or Body Weight of Healthy, Lean Adults in a Randomized Controlled Trial. *The Journal of Nutrition*; 2018.148(4):650-657.

52. International Diabetes Association: (<http://www.international-diabetes-association.com/metabolic-syndrome>); 2015.14 July.

53. Suez J, Korem T, Zeevi D, Zilberman-Schapira G, Thaiss CA, et al. Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota. *Nature*; 2014.514(7521):181.

54. Polyák É, Gombos K, Hajnal B, Bonyár-Müller K, Szabó S, Gubicskó-Kisbenedek A, et al. Effects of artificial sweeteners on body weight, food and drink intake. *Acta Physiologica Hungarica*; 2010.97(4):401-7.

55. Collison KS, Makhoul NJ, Zaidi MZ, Al-Rabiah R, Inglis A, Andres BL, et al. Interactive effects of neonatal exposure to monosodium glutamate and aspartame on glucose homeostasis. *Nutr Metabol*; 2012. 9(1):58.

56. Rabena A, Richelsen B. Artificial sweeteners: a place in the field of functional foods? Focus on obesity and related metabolic disorders. *FFDS*; 2012.15(6):597-604.

57. Swither S. Artificial sweeteners are not the answer to childhood obesity. *Appetite*; 2015.93:85-90.

58. Rahiman F, Pool EJ. The in vitro effects of artificial and natural sweeteners on the immune system using whole blood culture assays. *J Immunoass Immunochem*; 2014.35(1):26-36.

59. Choudhary AK, Devi RS. Effects of aspartame on hsp70, bcl-2 and bax expression in immune organs of Wistar albino rats. *The Journal of Biomedical Research* ; 2016.30(5):427-435.

60. Hardcastle JE, Bruch RJ. Effect of L.aspartyL.L.phenylalanine methyl ester on leukotriene biosynthesis in macrophage cells. *PLEFA*; 1997.57(3): 331-333.

61. Szucs EF, Barrett KE, Metcalfe DD. The effects of aspartame on mast cells and basophils. *Food and chemical toxicology*; 1986.24(2):171-4.

62. Ramslund P A, Movafagh B F, Reichlin M, Edmundson A B. Interference of rheumatoid factor activity by aspartame, a dipeptide methyl ester. *Journal of Molecular Recognition*; 1999.12(5):249-257.

63. Poussin C, Sierro N, Boué S, Battey J, Scotti E, Belcastro V, et al. Interrogating the microbiome: experimental and computational considerations in support of study reproducibility. *Drug discovery today*; 2018.8.

64. Cowan TE, Palmnäs MS, Yang J, Bomhof MR, Ardell KL, Reimer RA, et al. Chronic coffee consumption in the diet-induced obese rat: impact on gut microbiota and serum metabolomics. *The Journal*

of nutritional biochemistry; 2014.25(4):489-95.

65. Kashanian S, Mohammad Mehdi Khodaei M, Kheiridoosh F. In vitro DNA binding studies of Aspartame, an artificial sweetener. *Journal of Photochemistry and Photobiology Biology*; 2013.120:104-110.

66. Kirkland D, Gatehouse D. Aspartame: A review of genotoxicity data. *Food and Chemical Toxicology*; 2015.84:161-168.

67. U S Food and Drug Administration . Aspartam. (<https://www.fda.gov/food/ingredientspackaginglabeling/foodadditivesingredients/ucm208580.htm>) 4 May 2018.

68. Soffritti M, Padovani M, Tibaldi E, Falcioni L, Manservigi F, Belpoggi F. The Carcinogenic Effects of Aspartame: The Urgent Need for Regulatory Re-Evaluation. *American Journal of Industrial Medicine*; 2014.57(4):383-397.

69. Lohner S, Toews I, Meerpohl J. Health outcomes of non-nutritive sweeteners: analysis of the research landscape. *Nutrition Journal*; 2017.16.

70. Haighton L, Roberts A, Walters B, Lynch B. Systematic review and evaluation of aspartame carcinogenicity bioassays using quality criteria. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*; 2018.

71. Dooley J, Lagou V, Dresselaers T, Katinka A, Dongen V, Himmelreich U, et al. No Effect of Dietary Aspartame or Stevia on Pancreatic Acinar Carcinoma Development, Growth, or Induced Mortality in a Murine Model. *Frontiers in Oncology*; 2017.7 (February 2017).

72. Pandurangan M, Enkhtaivan G, Mistry B, Chandrasekaran M, Noorzai R, Kim D. Investigation of role of aspartame on apoptosis process in HeLa cells. *Saudi Journal of Biological Sciences*; 2016.23(4): 503-506.

73. Soffritti F, Belpoggi F, Esposti D, Lambertini L, Tibaldi E, Rigano A. First Experimental Demonstration of the Multipotential Carcinogenic Effects of Aspartame Administered in the Feed to Sprague-Dawley Rats. *Environmental Health Perspectives*; 2006.114(3):379-385.

74. Soffritti M, Belpoggi F, Tibaldi E, Esposti D, Lauriola M. Life-Span Exposure to Low Doses of Aspartame Beginning during Prenatal Life Increases Cancer Effects in Rats. *Environmental Health Perspectives*; 2007.115(9):1293-1297.

75. Yilmaz S, Ucar A. A review of the genotoxic and carcinogenic effects of aspartame: does it safe or not? *Cytotechnology*; 2014. 66(February 2014):875-881.

76. Zafar T, Naik QAB, Shrivastava VK. Aspartame: Effects and Awareness. *MOJ Toxicol*; 2017. 3(2).

77. Ardalan MR, Tabib H, Ebrahimzadeh Attari V, Malek Mahdavi I. Nephrotoxic Effect of Aspartame as an Artificial Sweetener. *Iranian Journal of Kidney Diseases*; 2017.11:339-343.

78. Aune D. Soft drinks, aspartame, and the risk of cancer and cardiovascular disease. *American Journal of Clinical Nutrition*; 2012. 96(6):1249-51.

79. Azad MB, Abou-Setta AM, Chauhan BF, Rabbani R, Lys J, Copstein L, et al. Nonnutritive sweeteners and cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials and prospective cohort studies. *CMAJ*; 2017.189(28):E929-39.