

## تأثیر رقم (واریته) سیب‌زمینی بر مقدار تشکیل آکریلامید در چیپس سیب‌زمینی

سعیده شجاعی علی‌آبادی<sup>۱</sup>، هوشنگ نیکوپور<sup>۲</sup>، فرزاد کبارفرد<sup>۳</sup>، محمد مهدی پارساپور<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

۲- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، انسستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، پست الکترونیکی: h\_nikoopour@yahoo.com

۳- استادیار گروه شیمی دارویی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

۴- محقق و متخصص علوم و صنایع غذایی

تاریخ پذیرش: ۸۷/۳/۶

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۲/۱۲

### چکیده

**ساقه و هدف:** اداره ملی غذاي سوئد در سال ۲۰۰۲ وجود مقادير بالاي آکريلاميد را در غذاهای حرارت دیده غني از کربوهيدرات اعلام کرد. اين ترکيب، توسط آزانس بين المللی تحقیقات سرطان به عنوان "ترکيب سرطان‌زاي احتمالي برای انسان" شناخته شده است. اين يافته، نگرانی وسیعی را در سطح بين المللی در پی داشت. با توجه به اينکه بيشترین مقدار آکريلاميد در محصولات سرخ شده سیب‌زمینی وجود دارد و مقدار مصرف اين محصولات، به ویژه چیپس سیب‌زمینی در کشور، بسیار زیاد است، هدف از این تحقیق، بررسی اثر مقدار قندهای احیاکننده و اسیدهای آمینه سه رقم (واریته) مختلف سیب‌زمینی بر میزان تشکیل آکريلاميد در چیپس تهیه شده از آن‌ها در مقیاس آزمایشگاهی بود.

**مواد و روش‌ها:** نمونه‌های چیپس از سه رقم آگریا، سانته و /امیدبخش در دمای ۱۸۰°C به مدت ۴/۱۵ دقیقه تهیه شد. اثر مقدار قندهای احیاکننده (گلوکز و فروکتوز) و اسید آمینه آسپاراژین بر میزان آکريلاميد به وسیله تعیین مقدار این ترکیبات، در نمونه‌های سیب‌زمینی خام با دستگاه HPLC بررسی شد. پس از دستیابی به روش مناسب برای اندازه‌گیری مقدار آکريلاميد در چیپس سیب‌زمینی، مقدار آن در نمونه‌های چیپس توسط دستگاه گروماتوگرافی گازی/ طیف سنجی جرمی (GC/MS) تعیین شد.

**یافته‌ها:** نمونه‌های چیپس تهیه شده از ارقام مختلف سیب‌زمینی از نظر مقدار قندهای احیا کننده، آسپاراژین و اکريلاميد، با هم تفاوت معنی داری داشتند ( $p < 0.05$ ). بيشترین مقدار قند احیاکننده در رقم سانته ( $3513 \text{ mg/kg}$ ) و سپس به ترتیب در ارقام آگریا ( $2111 \text{ mg/kg}$ ) و /امیدبخش ( $1622 \text{ mg/kg}$ ) مشاهده شد. رقم /امیدبخش دارای بالاترین مقدار آسپاراژین ( $1871 \text{ mg/kg}$ ) نسبت به دو رقم دیگر بود ( $p < 0.05$ ). اما از نظر آماری، اختلاف غلظت آسپاراژین در ارقام آگریا و سانته، معنی دار نبود. بيشترین مقدار آکريلاميد در نمونه‌های تهیه شده از رقم سانته ( $8825 \mu\text{g/kg}$ ) و کمترین مقدار آن در نمونه‌های تهیه شده از رقم /امیدبخش ( $5112 \mu\text{g/kg}$ ) به دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** بيشتر بودن مقدار آسپاراژین سیب‌زمینی خام، لزوماً به معنی بيشتر بودن مقدار آکريلاميد در نمونه‌های چیپس نبود، اما مقدار آکريلاميد در نمونه‌های چیپس تهیه شده از ارقامی که مقدار بيشتری قندهای احیاکننده داشتند، بالاتر بود. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در محصولات سیب‌زمینی، با کاهش مقدار قندهای احیاکننده از طریق انتخاب رقمی که به طور طبیعی مقدار کمتری از این پیش‌ساز داشته باشد، می‌توان مقدار آکريلاميد را در چیپس سیب‌زمینی کاهش داد. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از رقم /امیدبخش برای کاهش مقدار آکريلاميد در چیپس سیب‌زمینی پیشنهاد می‌شود و انجام بررسی در مقیاس صنعتی توصیه می‌شود.

**واژگان کلیدی:** اکريلاميد، چیپس سیب‌زمینی، قندهای احیاکننده، آسپاراژین، ارقام سیب زمینی

### ۰ مقدمه

آکريلاميد، علاوه بر محیط‌های کارگری مرتبط با تولید آکريلاميد، دخانیات و آب آشامیدنی است. طبق مقررات، مقدار آن در آب آشامیدنی به  $5 \mu\text{g/Kg}$  محدود شد (۲).

اداره ملی غذاي کشور سوئد در ۲۴ آوریل سال ۲۰۰۲ وجود مقادير بالاي آکريلاميد را در غذاهای حرارت دیده غني از کربوهيدرات اعلام کرد (۱). تا قبل از کشف وجود آکريلاميد در غذا تصور می شد که منبع اصلی دریافت

مقدار پیش‌سازها به ویژه قندهای احیاکننده موثرند که از آن جمله می‌توان رقم (واریته) سیب‌زمینی، عوامل پیش و پس از برداشت اشاره کرد. مهم‌ترین فاکتورهای پیش از برداشت عبارتند از: سیستم‌های کشاورزی، رطوبت خاک، شرایط آب و هوایی، کوددهی، زمان کشت، دما در طول مدت رشد گیاه، میزان رسیدگی گیاه، عوامل مهم تاثیرگذار در مرحله پس از برداشت عمدتاً دما، زمان انبارمانی و استرس‌های مکانیکی هستند (۱۱).

با توجه به احتمال سرطان‌زا بودن اکریلامید و در عین حال توسعه روز افزون صنایع تولید چیپس سیب‌زمینی و مصرف بالای این محصولات در کشور، ضرورت بررسی راهکارهای کاهش این ترکیب در چیپس سیب‌زمینی احساس می‌شود (۱۲). از آنجا که ارقام مختلف سیب‌زمینی، هر یک دارای مقادیر مختلف پیش‌سازهای اکریلامید هستند، در این پژوهش، با ثابت نگه داشتن سایر عوامل موثر ذکر شده، تعیین رقم مناسب سیب‌زمینی که ضمن دارا بودن قابلیت دسترسی صنعتی در کشور، مقدار کمتری اکریلامید در چیپس آن تولید شود، مورد توجه قرار گرفت.

## • مواد و روش‌ها

مشخصات سیب‌زمینی و روغن مورد استفاده: برای انجام این تحقیق مقدار ۱۰ کیلوگرم از هر یک از سه رقم مختلف سیب زمینی شامل آگریا، سانته و رقم اصلاح شده جدید با نام/میدبخش (کد ۳۹۷۰۷-۹) که تحت شرایط یکسانی کشت، داشت و برداشت شده بودند، از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر وزارت جهاد کشاورزی تهییه و تا زمان تهیه چیپس در دمای  $10^{\circ}\text{C}$   $10^{\circ}\text{C}$  نگهداری شدند. برای سرخ کردن نمونه‌ها از روغن مخصوص سرخ کردنی بهار (کارخانه بهشهر) با اسیدیته، عدد پراکسید و عدد یڈی به ترتیب  $0.031$  درصد،  $0.547\text{ meq/kg}$ ،  $91.9\text{ mg/100g}$  استفاده شد.

تولید آزمایشگاهی چیپس: ابتدا سیب‌زمینی‌ها شسته شده و پس از پوست‌گیری، برگه‌هایی به ضخامت  $1/5$  میلی‌متر از آن‌ها تهییه شد. شستشو و خیساندن به مدت ۱ دقیقه در آب سرد به منظور حذف نشاسته سطحی صورت گرفت. مقدار  $100$  گرم از برگه‌ها پس از خشک

این یافته که غذا مهم‌ترین منبع دریافت آکریلامید برای انسان است، نگرانی وسیعی را در سطح بین‌المللی به دنبال داشت (۳) زیرا این ترکیب در سال ۱۹۹۴ توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان به عنوان "ترکیب سرطان‌زا احتمالی برای انسان" طبقه‌بندی شد و از سوی دیگر، ایجاد اختلالات عصبی توسط آن، نه تنها در حیوانات آزمایشگاهی بلکه در انسان هم به اثبات رسید (۴).

نتایج بررسی‌های انجام شده در زمینه مقدار آکریلامید موجود در غذاهای مختلف توسط FDA و سازمان‌های غذایی چندین کشور مشخص کرد که بیش‌ترین مقدار آکریلامید در محصولات سرخ شده سیب‌زمینی به ویژه چیپس و خلال سیب‌زمینی تشکیل می‌شود (۵). متوسط میزان دریافت روزانه آکریلامید در کشورهای پیشرفته توسط FAO/WHO بین  $0.8/0.3$  تا  $0.8/0.3$  میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن تخمین زده شده است (میانگین وزن  $70$  کیلوگرم در نظر گرفته شده است) (۶).

مطالعات و بررسی‌های مستقل انجام شده توسط چندین گروه تحقیقاتی نشان داده است که مسیر اصلی تشکیل آکریلامید در غذاهای حرارت دیده، واکنش میلارد بین گروه آمین آزاد اسید آمینه آسپاراژین و یک منبع کربونیلی مانند قندهای احیا کننده است. بنابراین، هر عاملی که بر واکنش میلارد اثر بگذارد، مانند ماتریکس غذا،  $\text{pH}$ ،  $a_w$ ، دما و زمان حرارت دهی می‌تواند بر تشکیل آکریلامید نیز موثر باشد. همچنین، محیط حرارت دهی (نوع روغن)، مقدار پیش‌سازهای موجود در ماده اولیه، از عوامل موثر بر تشکیل آکریلامید هستند. در این میان، مقدار پیش‌سازهای موجود در ماده اولیه (سیب‌زمینی) یکی از عوامل مهم است. از آنجا که قندهای احیا کننده و آسپاراژین، پیش‌سازهای اصلی آکریلامید هستند، مقدار آن‌ها در ماده غذایی خام، نقش مهمی در تعیین میزان تشکیل آکریلامید در محصول نهایی دارد (۷-۱۰).

قندهای احیاکننده عمدۀ سیب زمینی گلوکز و فروکتوز هستند. در مورد سیب‌زمینی، عوامل مختلفی بر

Ardo و Polychroniadou مشتق‌سازی اسیدهای آمینه نوع اول از محلول ارتوفنال دی آلدهید/ مرکاپتواتانول و مشتق‌سازی اسیدهای آمینه نوع دوم از محلول Fluorenylmethyl chloroformate مطابق روش Butikofer و Ardo استفاده شد (۱۶). آکریلامید بر اساس روش‌های Tareke و Lehotay با انجام اصلاحات لازم اندازه‌گیری شد (۱۷، ۱۸). به این ترتیب که ۵/۶ گرم نمونه مطابق روش Lehotay آماده‌سازی شد. به طور خلاصه، پس از افزودن ۵۰۰ ng/g متابکریلامید به عنوان استاندارد داخلی، ۵ml هگزان و سپس به نسبت مساوی آب مقطر و استونیتریل به آن اضافه شد و کاملاً مخلوط شد. آنگاه ۵g مخلوط سولفات سدیم بدون آب و کلرید سدیم به آن افزوده، پس از سانتریفوژ شدن به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه لایه استونیتریلی به طور کامل جداسازی شد. سپس لایه استونیتریلی جمع آوری شده، بر اساس روش Tareke برومeh شد. برای این منظور از پتاسیم بروماید، اسید هیدروبرومیک و آب برم اشباع استفاده شد. محلول حاصله به مدت یک شب در یخچال ۴°C گرفت. سپس برم اضافی با افزودن مقدار لازم تیوسولفات سدیم ۷/۰ مولار (چند قطره) بی رنگ شده و پس از افزودن سولفات سدیم، محلول حاصله توسط ۶۵ml استات، طی دو مرحله استخراج شد. فاز آلی حاصله پس از آبگیری توسط مقدار کافی سولفات سدیم، ابتداء به وسیله دستگاه تبخیر کننده چرخشی (evaporator rotary) تحت خلاً تبخیر شد، سپس تحت گاز ازت تا حجم ۲۵۰ میکرولیتر تغليظ شد. نمونه آماده تزریق تا زمان آنالیز در فریزر نگهداری شد. تعیین مقدار آکریلامید توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی Varian مدل ۳۸۰۰ مجهر به آشکارساز طیفسنج جرمی Varian مدل ۱۲۰۰ انجام شد. برای این منظور از ستون مویین (HP5) به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵mm و ضخامت ۰/۲۵µm استفاده شد.

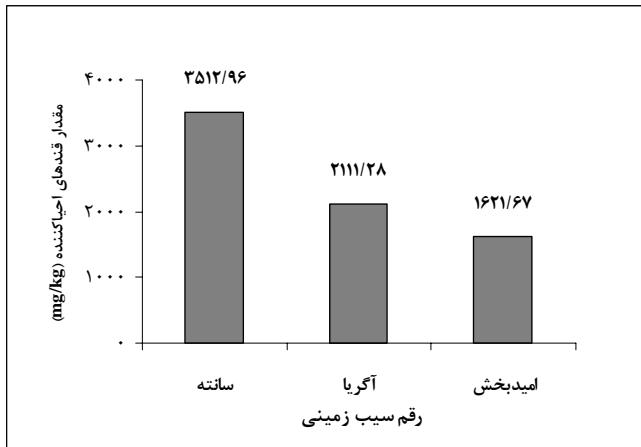
**روش‌های آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها:** برای بیان متغیرهای کمی از آمار توصیفی به کمک میانگین و

شدن توسط حوله کاغذی در دمای ۱۸۰°C به مدت ۴/۱۵ دقیقه در یک سرخ کن خانگی مارک تفال محتوى ۳ لیتر روغن سرخ شدند. سپس تا رسیدن به دمای اتاق، خنک شدند. از سیبزمینی خام هم نمونه برداری شد. نمونه‌ها پس از بسته‌بندی در کیسه‌های پلی اتیلنی و کدگذاری به فریزر ۲۴°C- منتقل شدند و تا زمان آنالیز میزان قند و پروفایل اسیدهای آمینه، در دمای ۲۴°C- نگهداری شدند. چیپس‌های تولید شده از نظر مقدار آکریلامید مورد آنالیز قرار گرفتند.

**تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی:** درصد رطوبت سیبزمینی به روش AOAC شماره ۹۳۰/۱۵ (۱۳) و وزن مخصوص آن مطابق روش (۱۴) اندازه گیری شد. برای اندازه گیری میزان گلوکز و فروکتوز، ابتدا ۷ گرم از نمونه (سیبزمینی) خرد و همگن شده با ۱۵۰ml اتانول داغ به مدت ۳۰ ثانیه ورتكس شد. پس از عبور دادن مخلوط از صافی، محلول حاصله در گرمانه ۵۰°C ۴۰ml آب خشک شد. سپس به قسمت خشک باقیمانده، ۰/۳ ml اضافه شد. به منظور رسوب دادن ناخالصی‌ها ۵ml محلول سولفات روی٪ و ۴/۷ml محلول هیدروکسید باریم ۳۰۰۰ دور/دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه. سپس فاز رویی بدون گرمانه گذاری خشک شد. ظرف محتوى نمونه با ۲ml آب مقطر شستشو داده شد. محلول حاصله، از صافی ۰/۴۵ میکرومتر (Polyurtan, saltius) عبور داده شد و توسط دستگاه HPLC مجهز به دتکتور RI مورد آنالیز قرار گرفت. پارامترهای کروماتوگرافی عبارت بودند از: ستون (Urokat-H) به طول ۳۰cm و قطر ۱۰mm، فاز متحرک آب با pH ۲ برابر به صورت ایزوکراتیک با سرعت جریان معادل ۷ml/min، دمای تزریق: ۲۰°C، دمای تزریق: ۲۰°C.

ترکیب اسیدهای آمینه آزاد (پروفایل اسیدهای آمینه) با استفاده از دستگاه HPLC (Hewlett-Packard) ۱۱۰۰ مجهز به دتکتور فلورسانس ۱۰۴۶A مدل Hewlett-Packard کار رفته از نوع C<sub>8</sub> به طول ۱۵۰mm و قطر ۴/۶ mm بود. مراحل استخراج و پروتئین زدایی بر اساس روش

بررسی ترکیب اسید های آمینه آزاد نشان داد که با وجود متغیر بودن مقدار اسید های آمینه در ارقام مورد بررسی، فراوان ترین اسید آمینه آزاد در هر سه رقم، اسید آمینه آسپاراژین بود ( شکل ۲).



شکل ۱- میانگین مجموع قندهای احیاکننده (میلی گرم / کیلوگرم وزن تازه) سه رقم مختلف سبز زمینی

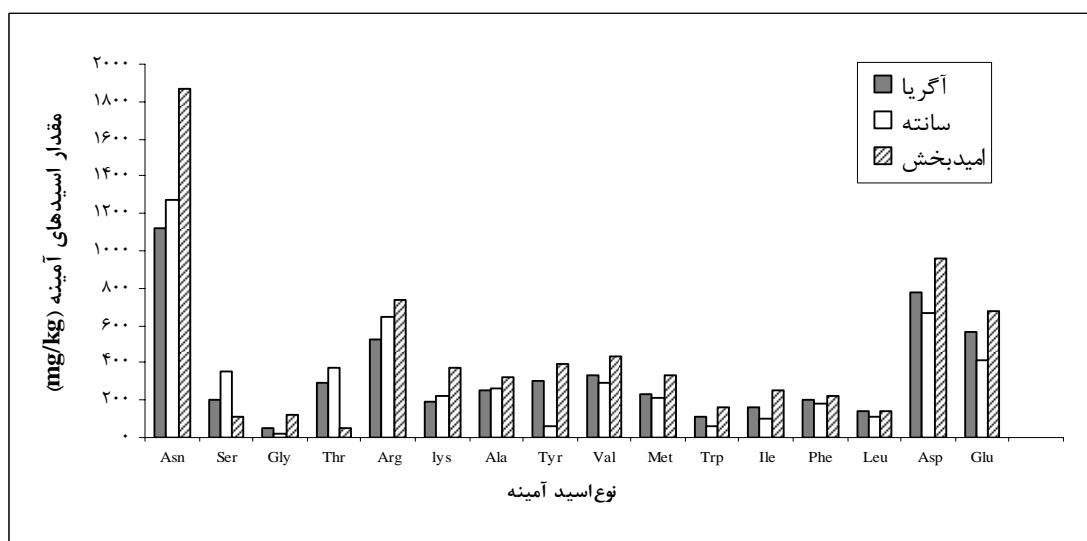
جدول ۱- مقدار ماده خشک و وزن مخصوص ارقام سبز زمینی ( انحراف معیار  $\pm$  میانگین)

آزمون		ارقام	سبز زمینی	ماده خشک٪	وزن مخصوص
		آگریا		۲۰/۰۴±۰/۱۴	۱/۰۸۰
		سانته		۱۹/۷۸±۰/۱۰	۱/۰۷۸
		امیدبخش		۲۴/۴۴±۰/۱۳	۱/۱۰۱

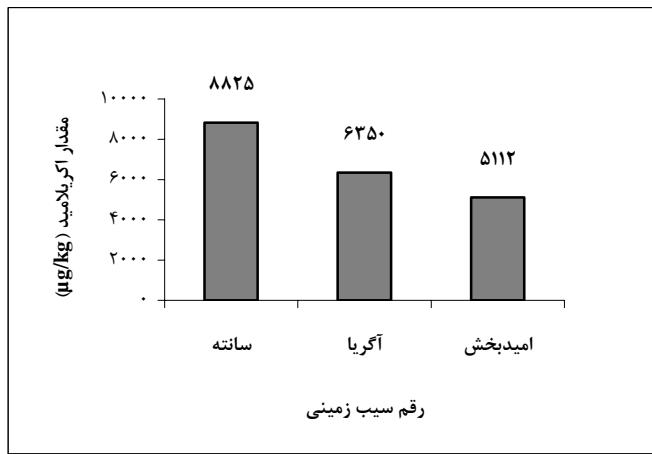
انحراف معیار، برای مقایسه میانگین نتایج از واریانس یکطرفه (ANOVA) استفاده شد. در صورت معنی دار بودن، برای تعیین تفاوت میانگین ها، آزمون تعاقبی دانکن (Duncan) انجام شد. برای بررسی وجود همبستگی بین متغیرها از آنالیز رگرسیون استفاده شده و در صورت معنی دار بودن، نمودارهای پراکنش و خط رگرسیون توسط نرم افزار اکسل (Excel) رسم شد.

#### • یافته ها

بررسی نتایج نشان داد که سه رقم مورد بررسی در این پژوهش (آگریا، سانته و امیدبخش) در مقدار گلوکز و فروکتوز با یکدیگر تفاوت معنی دار داشتند ( $p<0.05$ ). غلظت گلوکز در دامنه ۹۸۵ تا ۱۷۸۱ میلی گرم بر کیلوگرم وزن تازه سبز زمینی قرار داشت که بیشترین مقدار آن در رقم سانته ( $1781\text{ mg/kg}$ ) و سپس به ترتیب در ارقام آگریا ( $1234\text{ mg/kg}$ ) و امیدبخش ( $985\text{ mg/kg}$ ) مشاهده شد. در هر سه رقم مقدار فروکتوز کمتر از گلوکز بود، اما روند تغییرات آن در هر سه رقم، مشابه تغییرات گلوکز بود. بیشترین مقدار در رقم سانته ( $663\text{ mg/kg}$ ) و کمترین در رقم امیدبخش ( $1731\text{ mg/kg}$ ) بود. به طور کلی، بر اساس نتایج به دست آمده، مجموع مقدار قندهای احیا کننده (گلوکز و فروکتوز) در رقم سانته ( $3512\text{ mg/kg}$ ) نسبت به آگریا ( $2111\text{ mg/kg}$ ) و امیدبخش ( $1621\text{ mg/kg}$ ) به طور قابل ملاحظه ای بیشتر بود (شکل ۱).

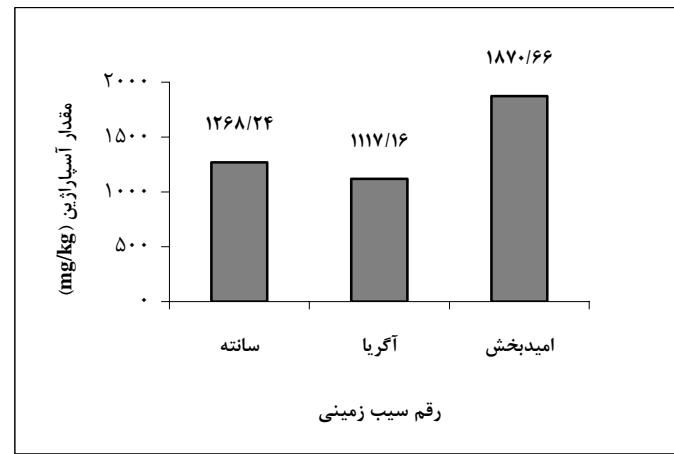


شکل ۲- مقدار اسیدهای آمینه (میلی گرم / کیلوگرم وزن تازه) سه رقم سبز زمینی



شکل ۴- میانگین اکریلامید (میکروگرم / کیلوگرم) نمونه‌های چیپس تولید شده از سه رقم سیب‌زمینی

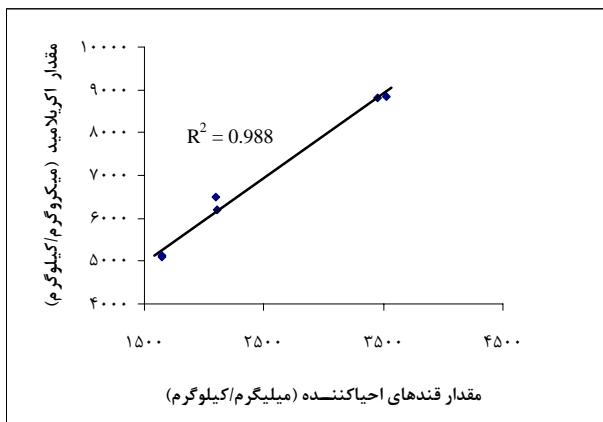
بررسی آماری همبستگی میان مقدار قندهای احیاکننده (گلوكز و فروکتوز) و نیز آسپارازین آزاد موجود در سه رقم سیب زمینی خام با اکریلامید تشکیل شده در نمونه‌های چیپس تهیه شده از همان ارقام سیب‌زمینی، نشان داد که ارتباط معناداری بین آسپارازین آزاد و اکریلامید وجود ندارد ( $R^2=0.3354$ ) (شکل ۵). در حالی که همبستگی قوی میان هر یک از قندهای احیاکننده (گلوكز با  $R^2=0.9969$ ، فروکتوز با  $R^2=0.9421$ ) و نیز مجموع آنها ( $R^2=0.988$ ) با مقدار اکریلامید مشاهده شد ( $p<0.05$ ) که در شکل ۶ آورده شده است.



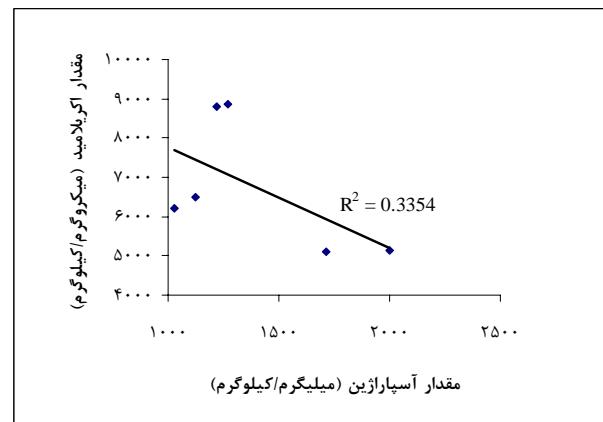
شکل ۳- میانگین مقدار آسپارازین (میلی‌گرم / کیلوگرم وزن تازه) سه رقم مختلف سیب‌زمینی

در این مطالعه، غلظت آسپارازین آزاد به عنوان پیش‌ساز اصلی اکریلامید در محدوده ۱۱۱۷ تا ۱۸۷۰ میلی‌گرم / کیلوگرم وزن تازه سیب زمینی قرار داشت. رقم / امیدبخش دارای بالاترین مقدار آسپارازین نسبت به دو رقم دیگر بود ( $p<0.05$ ). اما از نظر آماری، اختلاف غلظت آسپارازین در آگریا و سانته معنی دار نبود (شکل ۳).

بررسی نتایج آماری نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری بین مقدار اکریلامید در نمونه‌های چیپس سیب زمینی تهیه شده از ارقام مختلف وجود دارد ( $p<0.05$ ). مقدار اکریلامید در نمونه‌های چیپس سیب‌زمینی تهیه شده از رقم سانته معادل ۸۸۲۵ میکروگرم بر کیلوگرم و در ارقام آگریا و امیدبخش به ترتیب ۶۳۵۰ و ۵۱۱۲ میکروگرم بر کیلوگرم بود (شکل ۴).



شکل ۶- نمودار پراکنش مجموع مقدار گلوكز و فروکتوز ( $\text{mg}/\text{kg}$ ) ارقام مختلف سیب‌زمینی با اکریلامید ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) چیپس تولید شده از همین ارقام



شکل ۵- نمودار پراکنش آسپارازین ( $\text{mg}/\text{kg}$ ) ارقام مختلف سیب‌زمینی با اکریلامید ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) چیپس تولید شده از همین ارقام

## • بحث

Takada و همکاران در سال ۲۰۰۵ مطابقت دارد (۲۴). بررسی نتایج آماری نشان داد که اختلاف آماری معنی داری بین مقدار اکریلامید در نمونه‌های چیپس سیب زمینی تهیه شده از ارقام مختلف وجود دارد (شکل ۳).

با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط محققان پیشین و نیز مطالعه حاضر، آسپارژین فراوان‌ترین اسید آمینه سیب زمینی است (۱۹، ۲۶) و پیش‌ساز اصلی تشکیل اکریلامید نیز محسوب می‌شود (۸-۱۰). اما بررسی ترکیب اسیدهای آمینه سه رقم سیب زمینی هیچ‌گونه ارتباطی بین مقدار اسیدهای آمینه سیب زمینی از جمله آسپارژین و تشکیل اکریلامید در چیپس نشان نداد. رقم سانته که دارای بیشترین پتانسیل تشکیل اکریلامید است، بالاترین مقدار قند احیا کننده را دارد، در حالی که مقدار آسپارژین آن نسبت به امیدبخش به مراتب کم‌تر است. رقم امیدبخش با کمترین مقدار قند احیا کننده با وجود دارا بودن بالاترین مقدار آسپارژین آزاد نسبت به دو رقم دیگر، کمترین میزان اکریلامید را نشان داد یعنی بیشتر بودن مقدار آسپارژین در ماده خام، منجر به تولید بالاترین مقدار اکریلامید در طول فرایند سرخ کردن نمی‌شود و مقدار قند احیا کننده موجود در سیب زمینی خام در مقایسه با مقدار آسپارژین، نقش مهم‌تری در تشکیل اکریلامید دارد. این یافته با نتایج سایر محققان که عامل تعیین کننده در تشکیل اکریلامید در چیپس سیب زمینی را مقدار قندهای احیا کننده معرفی کردند، مطابقت دارد (۲۳، ۲۵، ۲۶).

علت ارتباط قوی بین پتانسیل تشکیل اکریلامید و قندهای احیاکننده در وهله اول به این دلیل است که به طور طبیعی، مقدار هر یک از قندهای احیاکننده در سیب زمینی بر خلاف غلات نسبت به آسپارژین کم‌تر است و از سویی، بین قندهای احیاکننده ارقام مختلف با هم و حتی در یک رقم که تحت شرایط کشاورزی و اقلیمی و انبارمانی متفاوتی قرار داشته‌اند و حتی از یک غده به غده دیگر تغییر زیادی وجود دارد؛ در حالی که در سیب‌زمینی

از سال ۲۰۰۲ تاکنون، مطالعات گسترشده‌ای در زمینه کاهش مقدار اکریلامید در محصولات غذایی مستعد تشکیل اکریلامید به ویژه چیپس سیب‌زمینی صورت گرفته است. یکی از راهکارهای مؤثر بررسی کاهش پتانسیل تشکیل اکریلامید در چیپس، کاهش مقدار پیش‌سازهای آن در سیب زمینی (ماده اولیه) است (۲۰).

از آنجا که یکی از عوامل مهم تعیین کننده در مقدار این پیش‌سازها، به ویژه قندهای احیا کننده، رقم سیب‌زمینی است، در این مطالعه سعی شد که از طریق ثابت نگه داشتن شرایط کاشت، داشت و برداشت و شرایط انبارمانی سیب‌زمینی ها پس از کشت، تا حد امکان، متغیرهای دیگر حذف شوند و بتوان تغییرات مشاهده شده در مقدار پیش‌سازهای اصلی را به نوع رقم نسبت داد. ماده خشک و وزن مخصوص ارقام سیب‌زمینی مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ آمده است. آگریا به این دلیل انتخاب شد که بیشترین سطح زیر کشت سیب‌زمینی رقم برای تولید صنعتی چیپس سیب‌زمینی در ایران است. پس از آگریا، سانته بالاترین سطح زیر کشت سیب‌زمینی را داراست. امیدبخش نیز یک رقم اصلاح نژاد شده جدید است که از سوی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر به علت داشتن ماده خشک بالا به عنوان رقم مناسب برای تولید صنعتی چیپس به صنعت معرفی شده است (۲۰). بیشتر بودن مقدار ماده خشک سیب‌زمینی، علاوه بر اینکه بازده تولید چیپس را افزایش می‌دهد سبب تولید چیپس ترددتر با چربی کم‌تر، طعم بهتر نسبت به سیب‌زمینی‌های با ماده خشک کم‌تر می‌شود (۲۲).

در این پژوهش، از نظر آماری، میان مجموع قندهای احیاکننده (گلوکز و فروکتوز) هر سه رقم با هم و آسپارژین رقم امیدبخش با سانته و آگریا تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (شکل‌های ۱ و ۲) که نشان می‌دهد نوع رقم سیب‌زمینی، عامل مهمی در تعیین مقدار پیش‌سازهای اکریلامید، چیپس است. نتایج این پژوهش با یافته‌های Amrein و همکاران در سال ۲۰۰۳ و

چیپس تهیه شده از آن تشکیل شد. در عین حال، این رقم به علت داشتن ماده خشک بالاتر که اساساً مشخصه مطلوب یک رقم سیب زمینی برای تولید چیپس است، نسبت به دو رقم دیگر مورد مطالعه برای تولید صنعتی مناسب‌تر است. بنابراین، می‌توان رقم /میدبخش را برای تولید صنعتی چیپس حاوی مقدار کم اکریلامید، پیشنهاد کرد.

شرایط مناسب انبارمانی سیب زمینی یکی از عوامل مهم در کنترل مقدار قندهای احیاکننده در سیب زمینی است، حتی در مورد رقم /میدبخش باید مورد توجه قرار گیرد.

### سپاسگزاری

از مشاوره ارزنده آقایان مهندس حامد صافر در روند تکمیل پژوهه و مهندس حسن آبادی در انتخاب و تهیه ارقام سیب زمینی، همچنین از همکاری خانم‌ها زهره سلیمانی و کیمیا طبیب در انجام مراحل آزمایشگاهی روش اندازه‌گیری اکریلامید، سپاسگزاری می‌شود.

اساساً مقدار آسپارازین نسبت به قندهای احیاکننده، بیشتر و تغییرات آن بین ارقام و بر حسب شرایط کشاورزی و اقلیمی و انبارمانی کمتر است (۲۳، ۲۵). در ارقام مورد بررسی در این مطالعه نیز مقدار آسپارازین آزاد بر حسب مولی بیش از مقدار گلوکز یا فروکتوز بود، بجز در مورد رقم سانته که مقدار آن تفاوت معنی‌داری نشان نداد. طبق مکانیسم تشکیل اکریلامید (واکنش میلارد) که توسط چندین محقق به طور مستقل بیان شده، آسپارازین عامل کلیدی محسوب می‌شود (۸-۱۰)، اما در عمل، مقدار قندهای احیاکننده تعیین کننده پتانسیل تشکیل اکریلامید در چیپس سیب زمینی هستند.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که انتخاب یک رقم مناسب که به طور طبیعی، حاوی مقدار کمتری پیش‌سازهای اصلی اکریلامید به ویژه قندهای احیاکننده باشد، می‌تواند مقدار اکریلامید را در چیپس سیب زمینی کاهش دهد. در میان ارقام مورد بررسی در این پژوهش، رقم /میدبخش نسبت به ارقام آگریا و سانته مقدار کمتری که قندهای احیاکننده داشت و مقدار اکریلامید کمتری هم در

### • References

1. Svensson K, Abramsson L, Becker W, Glynn A. Dietary intake of acrylamide in Sweden. *Food Chem Toxicol.* 2003; 41: 1581-1586.
2. Rice J. The carcinogenicity of acrylamide. *Mutation Res.* 2005; 580: 3-20.
3. Vesper H, Perez H, Meyers T, Ospina M, Mayers G.L Pilot study on the impact of potato chips consumption on biomarkers of acrylamide exposure. In: Friedman M, Mottram D. Chemistry and Safety of Acrylamide in Food. 1st ed, New York: Springer Sci Inc. 2005: 89-97.
4. Lopachin R.M. The changing view of acrylamide neurotoxicity. *Neurotoxicol.* 2004; 25: 617-630.
5. Friedman, M. Chemistry, biochemistry and safety of Acrylamide. *J Agric Food Chem.* 2003; 51: 4504-4526.
6. FAO/WHO, Health implications of acrylamide in food, Report of a joint FAO/WHO consultation. Available from:[http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/en/acrylamide\\_full.pdf](http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/en/acrylamide_full.pdf). 25-27 june 2005.
7. Mottram S, Wedzicha B.L. Acrylamide is formed in the maillard reaction. *Nature.* 2002; 419: 448-449.
8. Stadler R, Blank I, Varga N, Robert F, Riediker S. Acrylamide from maillard reaction products. *Nature.* 2002; 419: 449-450.
9. Zyzak D, Sanders R, Stokanovic M, Tallmadge D, Eberhart B, Ewald D. Acrylamide formation mechanism in heated foods. *J Agric Food Chem.* 2003; 51: 4782-4787.
10. Yaylayan V. A, Wnorowski A, Perez Locas C. Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide. *J Agric Food Chem.* 2003; 51: 1753-1757.
11. Kumar D, Singh B, Kumar P. An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. *Ann Appl Biol.* 2004; 145: 247-256.
12. مرکز آمار و کامپیوتر وزارت صنایع، آمار کارخانجات چیپس ایران . ۱۳۷۳-۱۳۸۳
13. Cunniff P, editor. Official methods of analysis of AOAC international, 16<sup>th</sup> ed., 3<sup>rd</sup> Revision, Maryland: AOAC International. 1997.

14. Palvista A.D, Ojava J.C. Chips and french-fries processing. In: Processing Vegetables. Switzerland: Technomic Pub Co., Inc; 1997:237-285.
15. Ardo Y, Polychroniadou A. Analysis of free amino acids and amines. In: laboratory manual for chemical analysis of cheese. Luxembourg: Office for official publications of the European Communities; 1999: 67-78.
16. Butikofer U, Ardo Y. Quantitative determination of free amino acids in cheese. Chemical methods for evaluating proteolysis in cheese maturation, Part 2; Brussels, Belgium: Int Dairy Fed; 1999: 24-32.
17. Tareke E, Rydberg P. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J Agric Food Chem.* 2002; 50: 4998-5006.
18. Lehotay J, Mastovska K. Rapid sample preparation method for LC-MS/MS or GC-MS analysis of acrylamide in various food matrices. *J Agric Food Chem.* 2006; 54: 7001-7008.
19. Brierley E, Bonner P, & Cobb, A. Aspects of amino acid metabolism in stored potato tubers (cv. Pentland Dell). *Plant Sci.* 1997; 127: 17-24.
20. Hendrickx E, Vleeschouwer K. Quantifying the formation of carcinogens during food processing: acrylamide. *Trends in Food Sci Tech.* 2005; 16: 181-193.
- ۲۱ . دفتر صنایع تبدیلی و تکمیلی. سیمای صنعت سیبزمنی. کرج: وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۸۵.
22. Talburt W.F. Potato processing. USA: AVI pub. Co; 1987: 19-37.
23. Amrein T, Bachman S, Noti A, Biedermann M, Barbosa M, Biedermann S. Potential of acrylamide formation, sugars, and free asparagine in potatoes: a comparison of cultivars and farming systems. *J Agric Food Chem.* 2003; 51: 5556-5560.
24. Tadaka A, Endo C, Chuda Y, Ono H, Yada H, Yoshida M, et al. Change in content of sugars and free amino acids in potato tuber under short-term storage at low temperature and the effect on acrylamide level after frying. *Biosci Biotech Biochem.* 2005; 69: 1232-1238.
25. Becalski A, Lau A, Lewis D. Acrylamide in French fries: Influence of free amino acids and sugars. *J Agric Food Chem.* 2004; 52:3801-3806.
26. Williams J.S. Influence of variety and processing conditions on acrylamide levels in potato crisps. *Food Chem.* 2005; 90: 875-881.