

## تغییرات میزان گلیکوالکالوئید کل و آلفاسولانین در سیب‌زمینی در طول نگهداری و فرایند حرارتی

شهرام دخانی، جواد کرامت و شیوا روفی‌گری حقیقت<sup>۱</sup>

### چکیده

سه رقم سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، مارفونای بهاره، کوزیما و مارفونای پاییزه از استان اصفهان تهیه، و در شرایط مختلف انبارداری شامل انبار سرد ۴ درجه سانتی‌گراد و تاریکی، انبار سرد ۱۲ درجه سانتی‌گراد و نور فلورسنت، انبار با دمای اتاق و تاریکی و انبار با دمای اتاق و نور روز نگهداری شد. در همه شرایط نگهداری، رطوبت نسبی ۸۵ تا ۹۰ درصد بود. اندازه‌گیری گلیکوالکالوئید کل، آلفاسولانین، وزن مخصوص و درصد ماده خشک در طول ۳۰ روز برای سیب‌زمینی رقم مارفونای بهاره، و ۹۰ روز برای ارقام پاییزه انجام گرفت. در آغاز، وسط و پایان انبارداری، مقدار آلفاسولانین بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک در هر یک از ارقام سیب‌زمینی، به روش کروماتوگرافی مایع با کارایی زیاد اندازه‌گیری شد. فرایند حرارتی تهیه چیپس و سیب‌زمینی پخته در سیب‌زمینی‌های ارقام پاییزه کوزیما و مارفونا در ماه دوم انبارداری، که بیشترین مقدار سولانین در آنها به وجود آمده بود، انجام شد. مقدار سولانین پیش و پس از فرایند اندازه‌گیری گردید. طرح آزمایش، فاکتوریل در چارچوب طرح کاملاً تصادفی بود و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد.

نتایج نشان داد که برای رقم مارفونای بهاره طی مدت ۳۰ روز انبارداری بیشترین مقدار سولانین در پایان انبارداری در انبار سرد ۱۲ درجه با نور فلورسنت بوده، و سه انبار دیگر از نظر مقدار ایجاد سولانین با یکدیگر تفاوتی ندارند. هم‌چنین، برای ارقام پاییزه (کوزیما و مارفونا) بیشترین مقدار سولانین طی ۹۰ روز نگهداری مربوط به انبار سرد ۱۲ درجه و نور فلورسنت بوده، پس از آن انبار با دمای اتاق و نور روز بیشترین مقدار سولانین را طی مدت نگهداری ایجاد کرد، و انبار با سرما و تاریکی کمترین مقدار افزایش سولانین را طی ۹۰ روز برای دو رقم مذکور داشت. در مورد انبار با دمای اتاق و تاریکی، به علت جوانه زدن غده‌ها در نیمه دوم انبارداری، مقدار سولانین در هر دو رقم کاهش یافت. بر خلاف این که پوست‌گیری، پیش از سرخ کردن و پس از پخت باعث کاهش مقدار سولانین در سیب‌زمینی در هر دو رقم شد، فرایند سرخ کردن برای تهیه چیپس و پختن در آب جوش هیچ تأثیری در مقدار سولانین نمونه‌ها نداشت. بنابراین، بهترین روش انبارداری سیب‌زمینی از نظر کمترین افزایش در میزان آلفاسولانین، انبار سرد ۴ درجه سانتی‌گراد و تاریکی است.

واژه‌های کلیدی: آلفاسولانین، انبارداری سیب‌زمینی، کروماتوگرافی با کارایی زیاد، گلیکوالکالوئید، سولانوم توپروزوم

۱. به ترتیب استاد، استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

## مقدمه

سیب زمینی جزو غذاهای اصلی مردم جهان و در رده چهارم پس از گندم، ذرت و برنج است، و حدود ۴۷ درصد از کل محصولات غده‌ای تولید شده را در بر می‌گیرد. از نظر نشاسته، مواد معدنی و ویتامین C دارای ارزش زیادی است و میزان پروتئین در هکتار بیشتری را نسبت به محصولات غله‌ای جهان تولید می‌کند. در غده‌های سیب زمینی، وقتی در معرض نور یا جوانه‌زنی قرار بگیرند نوعی آلكالوئید سمی تولید می‌شود که مقادیر زیاد آن موجب مسمومیت می‌گردد. در حالت طبیعی مقدار آن ۵-۱۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم سیب‌زمینی تازه است، که بیشتر در نواحی سطحی و زیر پوست غده، جوانه‌های روی آن، و پیرامون چشم‌ها وجود دارد (۱۰). مصرف سیب‌زمینی که بیش از ۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن مرطوب گلیکوآلكالوئید داشته باشد، ایجاد مسمومیت می‌کند (۲۰). گلیکوآلكالوئیدها از یک بخش غیر قندی (Aglycone) استروئیدی نیتروژن‌دار و یک زنجیره قندی که به کربن شماره ۳ آن متصل شده است، ساخته شده‌اند. بیش از ۹۵ درصد گلیکوآلكالوئیدهای سیب‌زمینی را آلفاسولانین و آلفاچاکونین تشکیل می‌دهند (۱۰).

مقدار آلكالوئید در سیب‌زمینی به سه عامل بستگی دارد: عامل اول که از اهمیت بسیاری برخوردار است، عامل ژنتیکی می‌باشد. به نحوی که واریته‌های خودرو دارای مقادیر بسیار زیادی آلكالوئید هستند. عامل دوم شرایط کاشت و داشت، مانند نوع خاک، محل کشت و پرورش گیاه، آب و هوا و سن غده است (۱۶ و ۲۰). سومین عامل در تغییر میزان گلیکوآلكالوئیدها در سیب‌زمینی عملیات پس از برداشت است. تنش‌های مکانیکی و شیمیایی، شرایط انبارداری و در معرض نور قرار گرفتن تأثیر شدیدی بر مقدار آنها دارد. پس از هرگونه صدمه‌ای به گیاه یا غده میزان آلكالوئیدها افزایش می‌یابد (۷). در مورد شرایط انبارداری سیب‌زمینی، عبدالجواد و همکاران (۱) گزارش کردند که مقدار آلكالوئیدها در انبار خانگی، که بدون کنترل دما و رطوبت است، حدود دو برابر بیشتر از نگهداری در یخچال هفت درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰ درصد در مدت ۹۰

روز نگهداری بوده است. در مورد اثر شدت نور، پاتیل و همکاران (۱۲) دریافتند که قرار گرفتن غده‌های سیب‌زمینی در برابر نور سفید فلورسنت با شدت ۱۰۰ فوت کندل (Foot-candles) حساسیت به افزایش گلیکوآلكالوئیدها و تجمع کلروفیل را نسبت به قرار گرفتن در شدت نورهای ۵۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ فوت کندل بیشتر می‌کند. بر پایه پژوهش سالونخه و همکاران (۱۴) روی اثر هم‌زمان نور و دما طی ۴۸ ساعت نگهداری برش‌های سیب‌زمینی در تاریکی و دماهای کمتر از صفر تا هشت درجه سانتی‌گراد، افزایش گلیکوآلكالوئیدها به آرامی صورت می‌گیرد، و در دماهای بین ۱۵ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد مقدار آن به هفت برابر مقدار اولیه می‌رسد. ولی در شدت ۲۰۰ فوت کندل نور فلورسنت و دمای بیش از ۲۴ درجه سانتی‌گراد مقدار آنها ۳-۴ برابر نسبت به نگهداری در تاریکی افزایش پیدا می‌کند.

در مورد تأثیر فرایندهای حرارتی بر مقدار گلیکوآلكالوئیدها در سیب‌زمینی اطلاعات زیادی در دسترس نیست. ولی آنچه تاکنون مشخص شده این است که آلفاسولانین و آلفاچاکونین به دمای خیلی زیاد در مدت کوتاه مقاوم‌اند. برابر گزارش پورتر (۱۳)، گلیکوآلكالوئیدها در دمای ۲۶۰-۲۷۰ درجه سانتی‌گراد، که حدود ۷۰-۸۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای سرخ کردن سیب‌زمینی است، از بین می‌روند. در سال ۱۹۸۰ سایزر و همکاران (۱۷) گزارش کردند که سرخ کردن سیب‌زمینی برای چپس در مقدار گلیکوآلكالوئید اثری ندارد، و آنچه موجب کاهش گلیکوآلكالوئیدها در محصولات سرخ شده می‌شود پوست‌گیری از غده‌های سیب‌زمینی پیش از فرایند است. در سال ۱۹۸۸ موندی و گاسلین (۱۱) اثر پوست‌گیری در گلیکوآلكالوئیدها را در سه روش پخت جوشاندن در آب مقطر، جوشاندن در آب نمک ۱۶ درصد و بخار دادن سیب‌زمینی بررسی، و گزارش کردند که مقدار گلیکوآلكالوئید سیب‌زمینی‌های پخته شده با پوست، در هر سه روش پخت بیشتر از سیب‌زمینی‌های پخته شده بدون پوست بوده است. ابتدایی‌ترین روشی که برای اندازه‌گیری گلیکوآلكالوئیدها به

روز. در هر چهار انبار رطوبت نسبی حدود ۸۵ تا ۹۰ درصد تأمین گردید. دمای اتاق در انبارداری ارقام پاییزه به طور متوسط بین ۲۰ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد و برای رقم بهاره بین ۲۵ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد بود. مارفونای بهاره پس از ۳۰ روز انبارداری در دمای اتاق دچار فسار شد و غیر قابل مصرف گردید. فرایندهای حرارتی روی ارقام پاییزه در ماه آخر انبارداری و روی نمونه‌ای که بیشترین مقدار سولانین را ایجاد کرده بود انجام گرفت. این فرایندها شامل تهیه چپیس در روغن داغ (۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴-۶ دقیقه) و پختن در آب جوش (به مدت ۲۵ دقیقه) بود.

مواد شیمیایی به کار رفته عبارت بود از: استیک اسید گلاسیال، سدیم بی‌سولفیت، استونیتریل، دی‌هیدروژن آمونیوم فسفات، پترولیوم بنزن، متانل، کلروفرم، آمونیاک، اتانل، فسفریک اسید و فرمالدئید، که همگی با خلوص بیش از ۹۹ درصد و ساخت کمپانی مرک آلمان بود. هم‌چنین، از آلفاسولانین با خلوص ۹۵ درصد از شرکت سیگما آمریکا، و الکل اتانل ۹۶ درجه از شرکت بیدستان قزوین استفاده شد. روغن مایع آفتاب‌گردان غنچه نیز در تهیه چپیس به کار رفت.

دستگاه‌های مورد استفاده در این آزمایش عبارت بود از: ترازوی حساس مدل متلر پی‌ال ۱۲۰۰ (Mettler PL 1200) ساخت سوئیس، آون مدل ممرت (Memmert) ساخت آلمان، آون خلأ مدل هرایوس (Heraeus) ساخت سوئد، ترازوی اندازه‌گیری رطوبت (Moisture balance) مدل اه‌ایوس (Ohaus) ساخت آمریکا و سانتریفوژ ۶۰۰۰ دور در دقیقه مدل هتیچ (Hettich) ساخت آلمان، دستگاه تبخیر گردشی بوخی (Buchi) ساخت سوئد، سیستم کروماتوگرافی مایع با کارایی زیاد شیمادزو ساخت ژاپن، دستگاه پوست‌گیری سایشی اگاواسیکی (Ogawaseiki) ساخت ژاپن و دستگاه اسپکتروفتومتر کام اسپک (Camspac) دوفام ساخت انگلستان.

### روش‌ها

در طی مدت انبارداری تحت شرایط مختلف، سه مرتبه

وسیله فیتزپاتریک و عثمان (۶) به کار گرفته شد روش تیترومتری بود. پس از آن روش‌های کروماتوگرافی لایه نازک (Thin layer chromatography, TLC)، کروماتوگرافی گازی و اسپکتروفتومتری برای این کار استفاده شد که هر یک نواقصی به همراه داشت. در سال ۱۹۸۶ بوشوی و پرکینز (۳) برای نخستین بار از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی زیاد (High performance liquid chromatography, HPLC) استفاده کردند، که نسبت به روش‌های قبلی از مزیت‌هایی همچون جداسازی کامل گلیکوآلکالوئیدها از یکدیگر و انجام سریع‌تر آزمایش برخوردار بود. ولی بهترین روشی که تاکنون ارائه شده، روش ایمونواسی (Immunoassay) است، که دقیق، حساس و ساده بوده و به خاطر اختصاصی بودنش می‌تواند مشکلات استخراج و خالص‌سازی را که در روش‌های دیگر منبع خطاست، محدود کند (۱۹).

در پژوهش حاضر تغییرات میزان گلیکوآلکالوئید کل، و در میان آنها مقدار دقیق آلفاسولانین، با روش کروماتوگرافی با کارایی زیاد، در دو رقم پاییزه و یک رقم بهاره سیب‌زمینی در شرایط مختلف انبارداری از نظر حرارتی و نور، به ترتیب برای ارقام پاییزه ۹۰ روز و رقم بهاره ۳۰ روز اندازه‌گیری شد. اثر فرایند حرارتی بر این ارقام نیز بررسی گردید.

### مواد و روش‌ها

#### مواد و دستگاه‌ها

مقدار ۲۵ کیلوگرم از هر یک از ارقام سیب‌زمینی مارفونای بهاره، که از منطقه کبوترآباد اصفهان برداشت شده بود، و کوزیما و مارفونای پاییزه، که از منطقه فریدن برداشت شده بود، تهیه گردید. رقم بهاره در اواخر خردادماه سال ۱۳۷۸ و ارقام پاییزه در اواخر مهرماه همان سال برداشت شده بود. مارفونای بهاره به مدت ۳۰ روز و ارقام پاییزه به مدت ۹۰ روز در چهار شرایط مختلف زیر انبار شد: الف) ۴ درجه سانتی‌گراد و تاریکی، ب) ۱۲ درجه سانتی‌گراد و نور فلورسنت به طور شبانه‌روزی، ج) دمای اتاق و تاریکی و د) دمای اتاق و نور

یکسان از یک سیب‌زمینی تهیه و به یکی از نمونه‌ها مقدار دقیق و معین سولانین استاندارد افزوده شد. سپس مقدار سولانین در هر دو نمونه تعیین گردید.

به منظور اندازه‌گیری میزان گلیکوکالکالوئید کل، نخست مقدار معینی سیب‌زمینی انبار شده با اتانل ضد عفونی شد، و سپس به صورت ورقه‌هایی بین دو کاغذ مرطوب در پتری‌دیش‌هایی در دمای اتاق به مدت چهار روز نگهداری گردید. پوست این ورقه‌ها جدا شد و پس از خشک کردن در آون تحت خلأ به صورت پودر خشک تهیه گردید (۱۵). با استفاده از محلول کلروفورم-استیک اسید-متانل (۹:۱:۱۰)، گلیکوکالکالوئید کل از این پودر استخراج شد. به منظور خالص سازی عصاره حاصل، با استفاده از یک کیف جدا کننده، مقادیر بیشتری کلروفورم و استیک اسید به محصول اضافه و فاز حلال آلی جداسازی شد. محلول به دست آمده تحت خلأ در دستگاه تبخیر گردشی تغلیظ، و پس از سانتریفوژ کردن، pH محلول صاف شده با استفاده از آمونیاک کاملاً قلیایی شد. رسوب حاصل با استفاده از سانتریفوژ جداسازی، شست‌شو و خشک گردید (۱۵). ترکیب به دست آمده در محلول کلروفورم-اتانل-آمونیم هیدروکسید (۱:۲:۲) حل، و مجدداً حلال آن تبخیر شد. سپس در مخلوط استیک اسید، فسفریک اسید و پارافرمالددید حل گردید. محلول سولانین استاندارد نیز به همین روش تهیه شد و سپس با استفاده از پارافرمالددید به عنوان شاهد، مقدار جذب عصاره و محلول استاندارد در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید (۴).

در تمام آزمون‌ها از تجزیه واریانس با در نظر گرفتن اثر متقابل تیمارها، آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها، طرح فاکتوریل در چارچوب طرح کاملاً تصادفی، و نرم‌افزار SAS برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری درصد ماده خشک برای سیب‌زمینی رقم مارفونای بهاره، کوزیما و مارفونای پاییزه در جدول ۱ آورده

نمونه‌برداری شد و آزمایش‌های لازم صورت گرفت. نمونه اول پیش از آغاز، نمونه دوم در وسط و نمونه سوم در پایان انبارداری انجام شد. در هر بار نمونه‌برداری هشت غده سیب‌زمینی در اندازه‌های مختلف انتخاب شد. هر آزمایش با چهار تکرار انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری ماده خشک نمونه‌ها، پنج گرم از هر نمونه در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد (۲). برای تأیید نتایج این روش، اندازه‌گیری رطوبت به روش تقطیر با تولون نیز به کار رفت (۱۰).

وزن مخصوص غده‌های سیب‌زمینی به صورت تکی از طریق غوطه‌وری در آب اندازه‌گیری شد.

به منظور تعیین میزان خلوص استاندارد سولانین از روش کروماتوگرافی لایه نازک استفاده شد. در این آزمایش صفحه شیشه‌ای سیلیکاژل و حلال متانل و لامپ ماورای بنفش برای بررسی لکه حرکت کرده روی صفحه به کار رفت (۴).

برای اندازه‌گیری مقدار سولانین در نمونه‌ها، نخست سولانین به وسیله محلول سدیم بی‌سولفیت در استیک اسید گلاسیال استخراج و عصاره حاصل پس از سانتریفوژ کردن از صافی‌های میلی‌پور ۰/۴۵ میکرون عبور داده شد. محلول حاصل در دستگاه تبخیر گردشی خشک و در متانل و فاز متحرک سیستم کروماتوگرافی با کارایی زیاد حل شد. فاز متحرک شامل استونیتریل بود که با افزودن دی‌هیدروژن آمونیم فسفات بافری شده بود (۵).

از سیستم کروماتوگرافی مایع ایزوکراتیک (Isocratic) با سرعت عبور یک میلی‌لیتر در دقیقه استفاده شد. نوع ستون CLC-C8 به ابعاد ۱۵۰×۶ میلی‌متر بود. با استفاده از محلول‌های استاندارد سولانین در غلظت‌های معین، ضمن تعیین زمان ماندگاری (Retention time)، بر اساس سطح زیر نقطه فراز، منحنی واسنجی برای تعیین مقادیر کمی سولانین در نمونه‌ها رسم شد، و شناساگر اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۱۰ نانومتر به کار رفت. آزمایش تعیین درصد بازیابی (Recovery) سولانین از غده‌های سیب‌زمینی بدین صورت انجام شد که دو نمونه

جدول ۱. تغییرات درصد ماده خشک سیب‌زمینی تحت شرایط مختلف انبارداری

شرایط انبارداری	مارفونای بهاره			کوزیمای پاییزه			مارفونای پاییزه		
	زمان (روز)	۱۵	۳۰	۰	۴۵	۹۰	۰	۴۵	۹۰
۴ درجه سانتی‌گراد و تاریکی	۱۶/۵	۱۶/۵	۱۶/۶	۲۲/۵	۲۲/۷	۲۲/۷	۱۸/۳	۱۸/۶	۱۸/۷
۱۲ درجه سانتی‌گراد و نور فلورسنت	۱۶/۵	۱۶/۶	۱۷/۲	۲۲/۵	۲۲/۸	۲۲/۹	۱۸/۳	۱۸/۶	۱۸/۸
دمای اتاق و تاریکی	۱۶/۵	۱۷/۰	۱۷/۶	۲۲/۵	۲۲/۹	۲۳/۲	۱۸/۳	۱۸/۷	۱۹/۰
دمای اتاق و نور روز	۱۶/۵	۱۷/۱	۱۸/۱	۲۲/۵	۲۳/۰	۲۴/۱	۱۸/۳	۱۹/۱	۲۰/۰

شده است. برابر این نتایج، در انبارهای با دمای اتاق، مقدار افزایش درصد ماده خشک بیشتر از انبارهای سرد بوده است، که علت آن با توجه به گزارش لیزینسکا و لژینسکی در سال ۱۹۸۹ (۹)، از بین رفتن رطوبت بر اثر افزایش دما در این انبارها می‌باشد.

همان گونه که در جدول ۱ مشخص است، درصد ماده خشک رقم مارفونای بهاره از رقم مارفونای پاییزه کمتر است، زیرا رقم مارفونای بهاره زودتر از موعد برداشت شده بود. با توجه به پژوهش لیزینسکا و لژینسکی (۹)، برداشت زود هنگام سیب‌زمینی باعث کمتر شدن ماده خشک آن می‌شود.

نتایج اندازه‌گیری وزن مخصوص برای ارقام سیب‌زمینی مورد آزمایش در جدول ۲ آمده است. برابر نتایج جدول ۱ و ۲، تغییرات ماده خشک و وزن مخصوص رابطه مستقیم دارند. بر پایه نتایج پژوهش لیزینسکا و لژینسکی (۹)، افزایش در ماده خشک باعث افزایش وزن مخصوص می‌گردد.

نتایج کروماتوگرافی لایه نازک (TLC) نشان داد که  $R_f$  (Retention factor) روی فاز ثابت سیلیکاژل و فاز متحرک متانل برای استاندارد سولانین برابر ۰/۵ بود. با استفاده از  $R_f$  به دست آمده، می‌توان وجود سولانین را در عصاره یک نمونه، که تحت شرایط یکسان تجزیه شده باشد، تعیین کرد.

برای تعیین منحنی استاندارد سولانین روش استاندارد داخلی (Internal standard) به کار برده شد، که با تطبیق سطح زیر نقطه فراز به دست آمده از نمونه‌ها با منحنی استاندارد، میزان غلظت سولانین در نمونه‌ها به دست آمد. ضریب

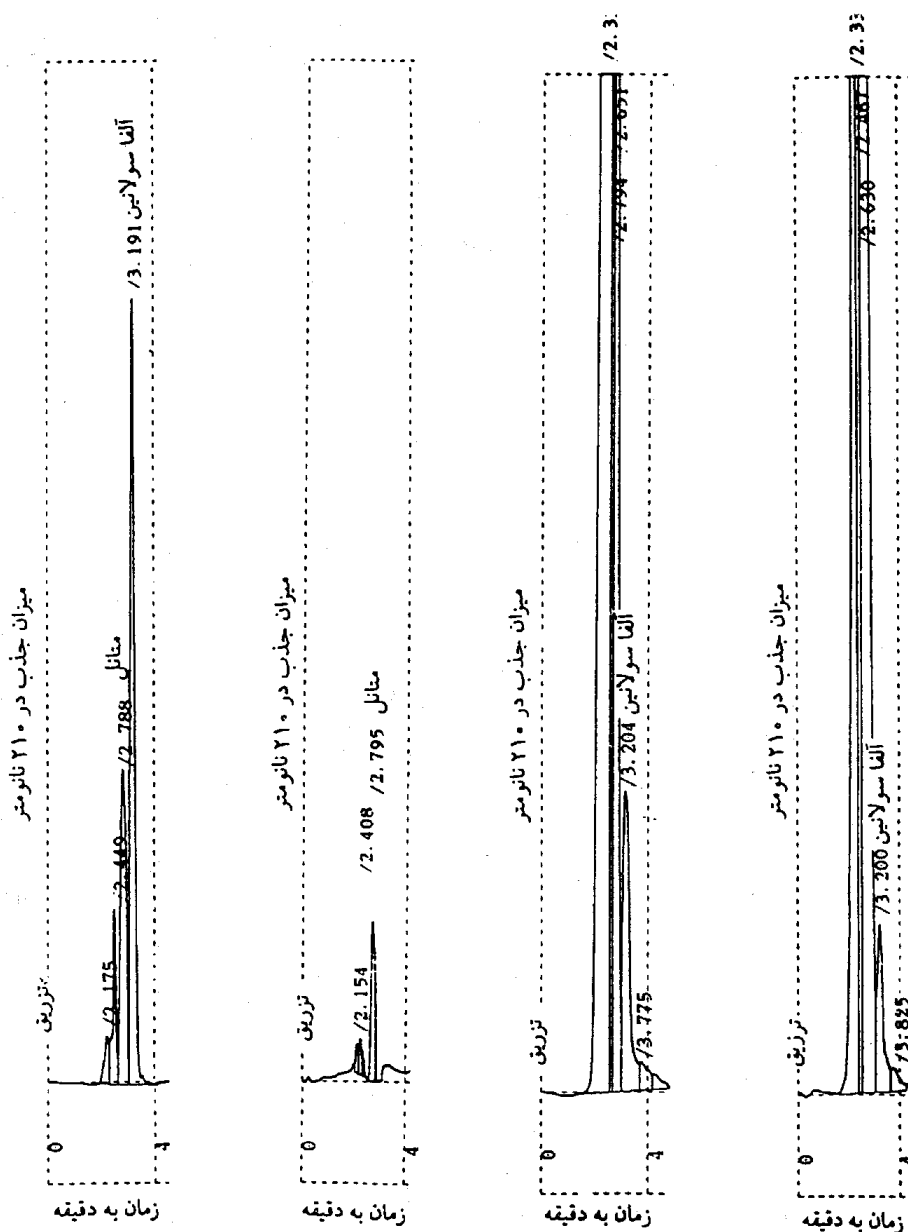
هم‌بستگی منحنی مزبور ۹۹٪ بود. در شکل ۱ کروماتوگرام مربوط به استاندارد سولانین و متانل نشان داده شده است. چنان که دیده می‌شود، افزون بر نقطه فراز سولانین که در دقیقه ۳/۲ مشخص شده است، نقاط دیگری هم در دقیقه ۲/۱، ۲/۴ و ۲/۸ دیده می‌شود، که مربوط به حلال مورد استفاده یعنی متانل می‌باشد. این موضوع در مقایسه کروماتوگرام متانل با استاندارد سولانین آشکار است. در شکل ۱ کروماتوگرام‌های آلفاسولانین استاندارد، حلال متانل و آلفاسولانین مربوط به ارقام مارفونا و کوزیما، پس از ۴۵ روز در شرایط انبارداری با نور فلورسنت و طبیعی نشان داده شده است. نقطه فراز مربوط به آلفاسولانین در این ارقام منطبق بر پیک استاندارد است، که در واقع دارای زمان ماندگاری یکسان هستند.

با توجه به شکل ۲، سولانین در رقم مارفونای بهاره طی ۳۰ روز انبارداری در انبار ۱۲ سانتی‌گراد و نور فلورسنت، با دیگر انبارها در سطوح ۱ و ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارد. انبارهای دیگر از نظر مقدار افزایش سولانین اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. همان گونه که دیده می‌شود، وجود منبع نوری فلورسنت در تمام مدت انبارداری باعث افزایش مقدار سولانین در نمونه‌ها شده است، که با گزارش‌های پاتیل و همکاران (۱۲) و سالونخه و همکاران (۱۴) هم‌خوانی دارد.

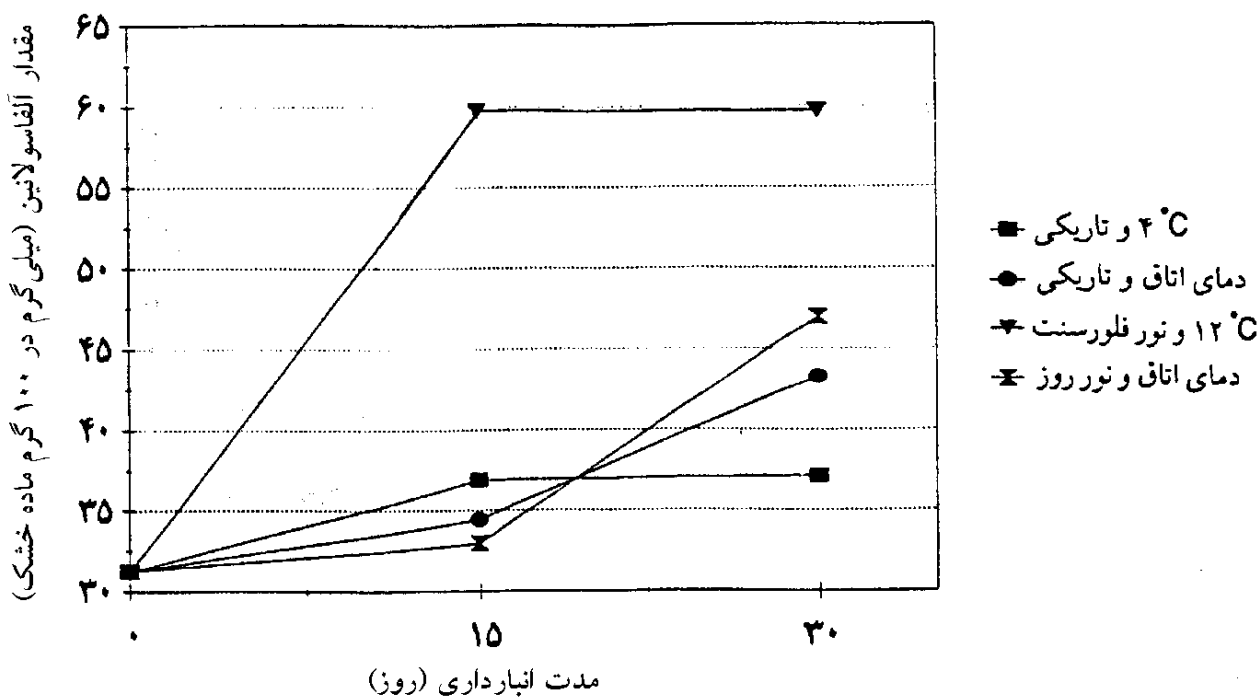
با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ و با در نظر گرفتن ماده خشک در جدول ۲، مقدار سولانین ارقام پاییزه کوزیما و مارفونا در انبار سرد ۱۲ درجه و نور فلورسنت بیشتر از انبارهای دیگر است. پس از آن، نگهداری در دمای اتاق و نور روز دارای

جدول ۲. تغییرات وزن مخصوص سببزمینی تحت شرایط مختلف انبارداری

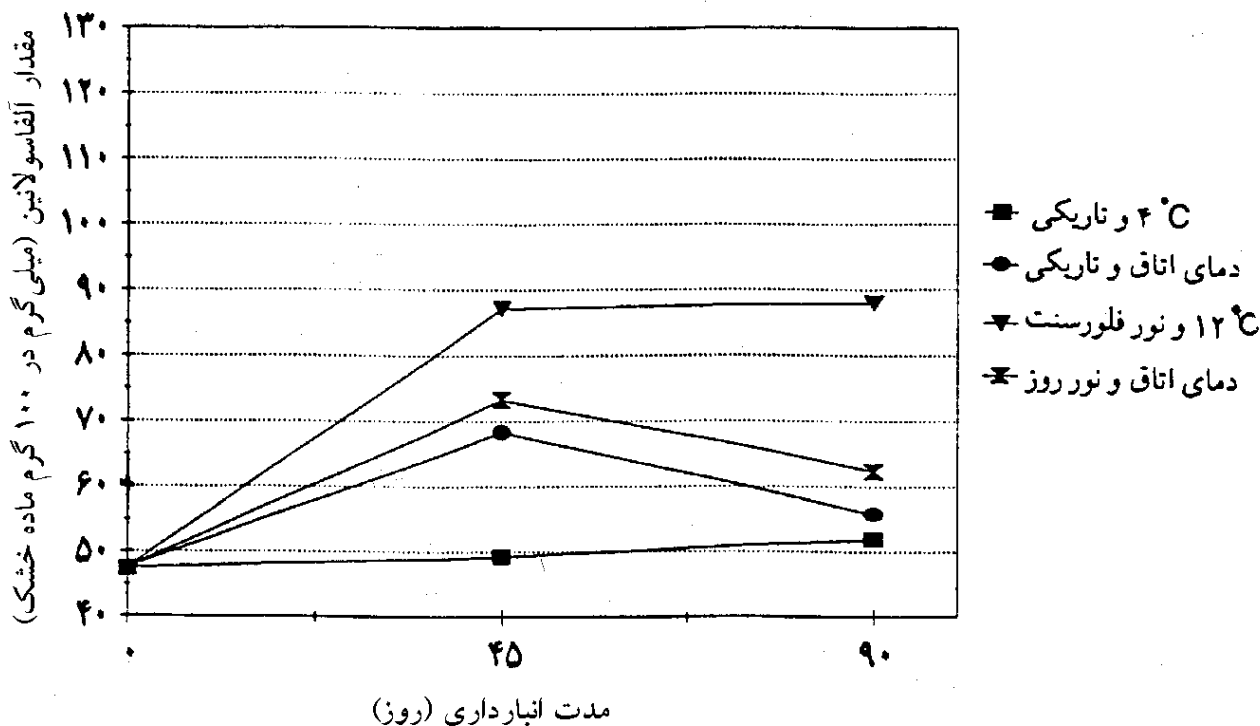
مارفونای بهاره			کوزیمای پاییزه			مارفونای بهاره			شرایط انبارداری
زمان (روز)			زمان (روز)			زمان (روز)			
۹۰	۴۵	۰	۹۰	۴۵	۰	۳۰	۱۵	۰	
۱/۰۵۹	۱/۰۵۸	۱/۰۵۸	۱/۰۸۰	۱/۰۸۰	۱/۰۷۸	۱/۰۵۱	۱/۰۵۱	۱/۰۵۰	۴ درجه سانتی‌گراد و تاریکی
۱/۰۶۲	۱/۰۵۹	۱/۰۵۸	۱/۰۸۲	۱/۰۸۰	۱/۰۷۸	۱/۰۵۳	۱/۰۵۲	۱/۰۵۰	۱۲ درجه سانتی‌گراد و نور فلورسنت
۱/۰۶۴	۱/۰۵۹	۱/۰۵۸	۱/۰۸۵	۱/۰۸۴	۱/۰۷۸	۱/۰۵۵	۱/۰۵۴	۱/۰۵۰	دمای اتاق و تاریکی
۱/۰۶۶	۱/۰۶۰	۱/۰۵۸	۱/۰۸۸	۱/۰۸۵	۱/۰۷۸	۱/۰۵۷	۱/۰۵۴	۱/۰۵۰	دمای اتاق و نور روز



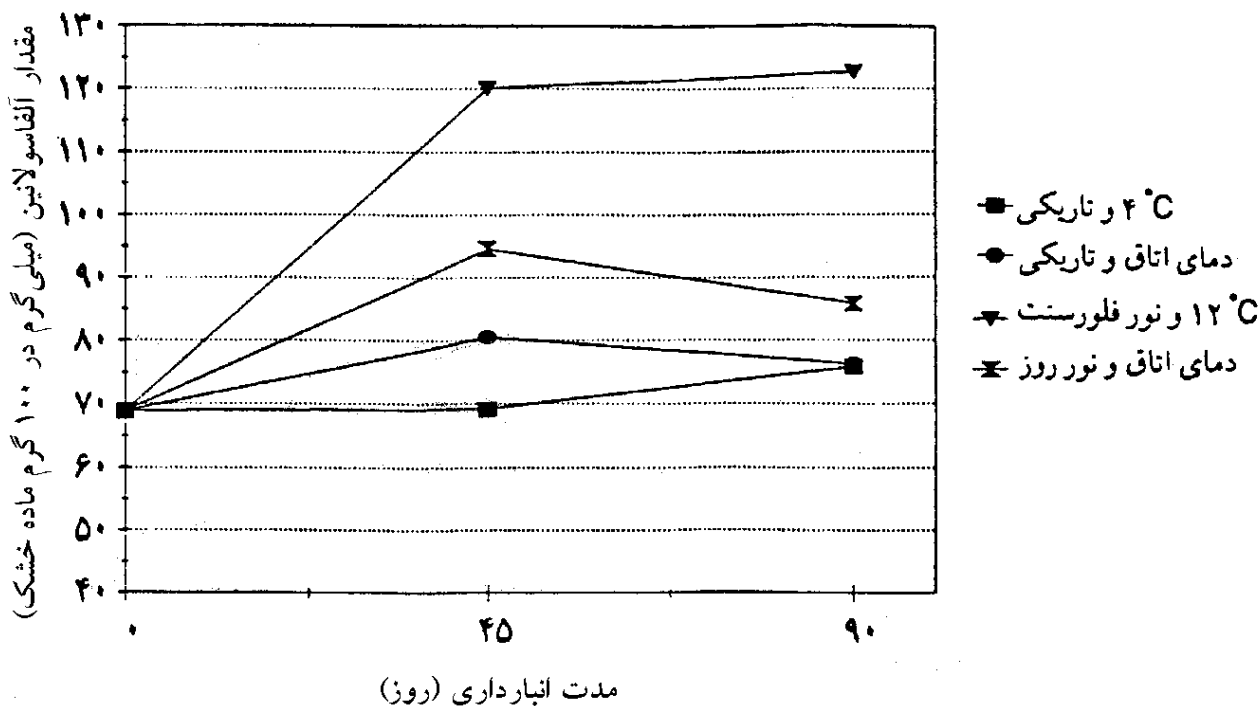
شکل ۱. کروماتوگرام‌های HPLC آلفاسولانین استاندارد و حلال متانل و آلفاسولانین موجود در نمونه‌های سببزمینی رقم مارفونا پس از ۴۵ روز در ۱۲ درجه سانتی‌گراد و نور فلورسنت و رقم کوزیما پس از ۴۵ روز در دمای اتاق و نور روز



شکل ۲. تغییرات آلفاسولانین در رقم مارفونای بهاره طی ۳۰ روز انبارداری در شرایط مختلف



شکل ۳. تغییرات آلفاسولانین در رقم کوزیمای پاییزه طی ۹۰ روز انبارداری در شرایط مختلف



شکل ۴. تغییرات آلفاسولانین در رقم مارفونای پاییزه طی ۹۰ روز انبارداری در شرایط مختلف

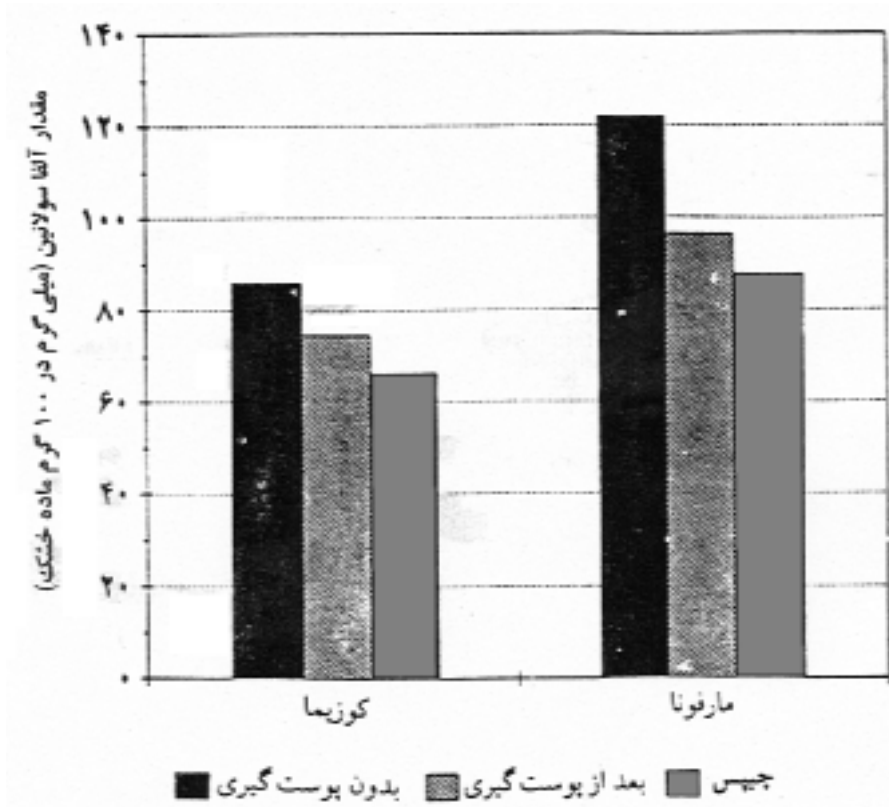
اختلاف در فصل رشد آنها نیز باشد، به طوری که رقم مارفونای بهاره فصل رشد کوتاه‌تری نسبت به رقم پاییزه داشته است. فصل رشد رقم بهاره از اواسط بهمن‌ماه سال ۱۳۷۷ تا اواخر خردادماه سال ۱۳۷۸ بوده، در حالی که رقم پاییزه فصل رشد خود را در تابستان طی کرده (اواسط اردیبهست تا اواخر مهرماه)، که هوا کاملاً آفتابی و گرم بوده است. این یافته با گزارش هلیوکا و همکاران (۸)، که زمان کشت غده‌های سیب‌زمینی را در ایجاد اختلاف سولانین مؤثرتر از تفاوت ارقام می‌دانند، هم‌خوانی دارد.

با توجه به شکل ۵، مراحل فرایند حرارتی بر میزان سولانین موجود در چپس رقم کوزیمای پاییزه در سطوح ۱ و ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند، ولی برای رقم مارفونای پاییزه بین مرحله پیش و پس از پوست‌گیری اختلاف معنی‌دار وجود دارد، به طوری که پس از پوست‌گیری مقدار سولانین کاهش پیدا کرده است. ولی فرایند حرارتی سرخ کردن در روغن در ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴-۶ دقیقه در ارقام تفاوتی ایجاد نکرده است. این نتایج با گزارش سایزر و

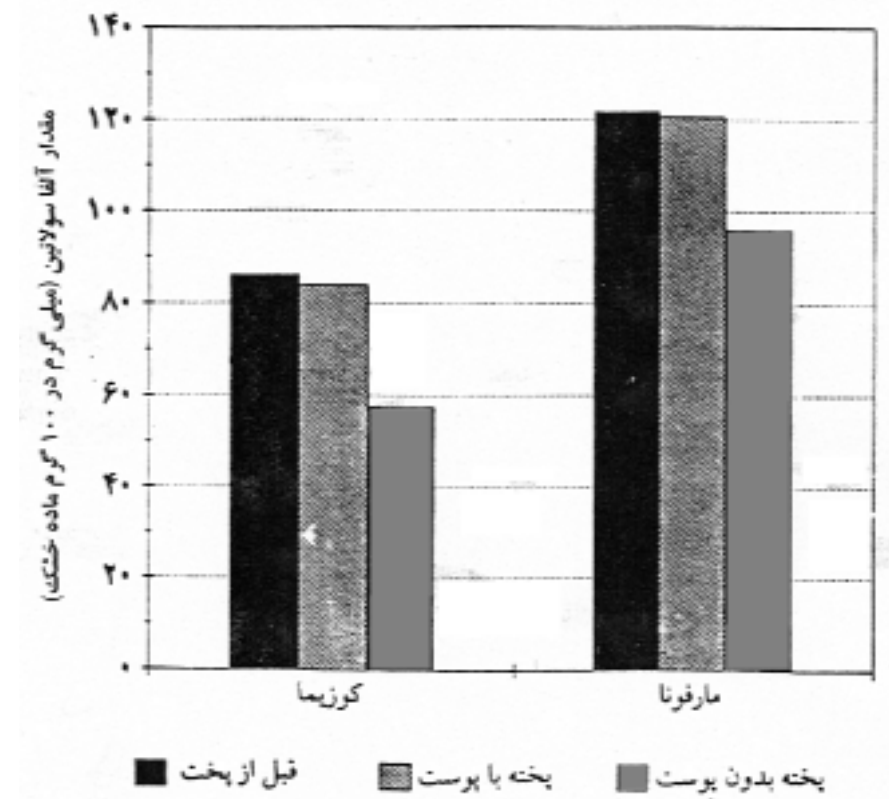
بیشترین میانگین مقدار سولانین نسبت به دو انبار دیگر می‌باشد. از نظر آماری، انبار با دمای اتاق و تاریکی حد واسط دو انبار با دمای اتاق و نور روز و انبار سرد چهار درجه سانتی‌گراد و تاریکی است. در این جا اثر نور، و پس از آن دما در افزایش میزان سولانین چشم‌گیر است. در مورد دو انبار با دمای اتاق، پس از ۴۵ روز مقدار سولانین کاهش پیدا کرده است. این کاهش در مورد انبار با نور روز از نظر آماری معنی‌دار نیست، ولی برای انبار با دمای اتاق و تاریکی در سطح پنج درصد معنی‌دار است. علت آن است که در ۹۰ روز، جوانه‌ها در سطح غده‌ها رشد کرده بودند، و برابر گزارش ساتون و همکاران (۱۸)، از آن جا که مقدار سولانین در جوانه روی سطح غده بسیار زیاد است، با افزایش رشد جوانه‌ها مقدار سولانین در لایه بیرونی غده کاهش پیدا می‌کند.

از مقایسه نتایج مقدار سولانین به دست آمده در دو رقم مارفونای بهاره و پاییزه، مشخص می‌شود که مقدار سولانین رقم پاییزه در آغاز انبارداری بیش از دو برابر رقم بهاره است. علت این اختلاف، علاوه بر تفاوت محل کشت این دو رقم، می‌تواند





شکل ۵. تغییرات آلفاسولانین در اثر فرایند حرارتی تهیه چیپس از نمونه‌های مختلف سیب زمینی



شکل ۶. تغییرات آلفاسولانین در اثر فرایند حرارتی پخت از نمونه‌های مختلف سیب زمینی

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر رقم، زمان و شرایط انبارداری بر میزان سولانین موجود در ارقام پاییزه سیب‌زمینی کوزیما و مارفونا و بهاره مارفونا

رقم و شرایط انبارداری	منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
انبار ۴ درجه سانتی‌گراد و تاریکی	مدل	۵	۳۰۱۱/۶	۶۰۲/۳	۱۰/۶۴***
	رقم	۱	۲۸۴۷/۱	۲۸۴۷/۱	۵۰/۳۱***
	زمان	۲	۱۴۸/۸	۷۴/۴	۱/۳۱ <sup>ns</sup>
	خطا	۱۸	۱۰۱۸/۷	۵۶/۶	-
انبار ۱۲ درجه سانتی‌گراد و نور فلورسنت	مدل	۵	۱۶۹۳۸/۲	۳۳۸۶/۶	۲۷/۴۳***
	رقم	۱	۵۲۸۶/۶	۵۲۸۶/۶	۴۲/۸۱***
	زمان	۲	۱۱۴۴۶/۵	۵۷۲۳/۳	۴۶/۳***
	خطا	۱۸	۲۲۲۲/۹	۱۲۳/۵	-
انبار با دمای اتاق و تاریکی	مدل	۵	۳۱۲۳/۶	۶۲۴/۷	۱۷/۸۶***
	رقم	۱	۱۹۶۳/۹	۱۹۶۳/۹	۵۶/۱***
	زمان	۲	۱۰۵۸/۲	۵۲۹/۱	۱۵/۱***
	خطا	۱۸	۶۲۹/۶۹	۳۵/۰	-
انبار با دمای اتاق و نور روز	مدل	۵	۵۶۳۹/۶	۱۱۲۷/۹	۱۲/۰۵***
	رقم	۱	۲۹۳۰/۵	۲۹۳۰/۵	۳۱/۲۹***
	زمان	۲	۲۷۰۳/۴	۱۳۵۱/۷	۱۴/۴۳***
	خطا	۱۸	۱۶۸۵/۶	۹۳/۶	-
مارفونای بهاره در طی ۳۰ روز انبارداری	مدل	۱۱	۴۹۵۹/۷	۴۵۰/۹	۱۱/۷۸***
	نوع انبار	۳	۱۸۱۰/۴	۶۰۳/۵	۱۵/۷۷***
	زمان	۲	۱۹۶۱/۳	۹۸۰/۷	۲۵/۶۳***
	خطا	۳۶	۱۳۷۷/۶	۳۸/۳	-
کوزیمای پاییزه در طی ۹۰ روز انبارداری	مدل	۱۱	۱۰۳۹۳/۲	۹۴۴/۸	۱۳/۸۹***
	نوع انبار	۳	۳۸۲۶/۹	۱۲۷۵/۶	۱۸/۷۶***
	زمان	۲	۴۲۸۶/۳	۲۱۴۳/۱	۱۳/۵۱***
	خطا	۳۶	۲۴۴۸/۲	۶۸/۰	-
مارفونای پاییزه در طی ۹۰ روز انبارداری	مدل	۱۱	۱۶۶۹۵/۶	۱۵۱۷/۸	۱۷/۵۸***
	نوع انبار	۳	۷۵۷۶/۹	۲۵۲۵/۶	۲۹/۳۶***
	زمان	۲	۵۰۶۴/۷	۲۵۲۳/۳	۲۹/۲۱***
	خطا	۳۶	۳۱۰۸/۵	۸۶/۴	-

\*\*\*: در سطوح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار است  
ns: در سطوح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار نیست

جدول ۴. اندازه‌گیری گلیکوآلکالوئید کل برای ارقام پاییزه سیب‌زمینی در انبار ۱۲ درجه و نور فلورسنت

رقم	مقدار نمونه (گرم)	مقدار جذب خوانده شده	گلیکوآلکالوئید (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک سیب‌زمینی)
کوزیما	۲۷/۴	۰/۳۲۵	۸۴/۷
مارفونا	۲۸/۰	۰/۴۶۵	۱۱۸/۶

معنی‌داری نداشته است.

جدول ۳ تجزیه واریانس نتایج اثر ارقام پاییزه و بهاره سیب‌زمینی را در شرایط مختلف انبارداری بر میزان سولانین نشان می‌دهد.

نتایج اندازه‌گیری گلیکوآلکالوئید کل برای ارقام پاییزه در جدول ۴ آورده شده است. از آن جا که روش اندازه‌گیری گلیکوآلکالوئید کل و درصد بازیابی آنها فاقد استانداردهای لازم بود، در مقایسه با روش کروماتوگرافی مایع با کارایی زیاد از حساسیت بسیار کمتری برخوردار است. مقدار گلیکوآلکالوئید به دست آمده از این روش برابر با مقدار سولانین به دست آمده از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی زیاد می‌باشد.

همکاران (۱۷) هم‌خوانی دارد که آنچه موجب کاهش مقدار سولانین طی فرایند تهیه چیپس می‌شود، پوست‌گیری از غده‌های سیب‌زمینی پیش از فرایند است.

شکل ۶ میزان تغییرات سولانین را در اثر فرایند حرارتی پخت برای ارقام پاییزه نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در سطوح ۱ و ۵ درصد بین مراحل فرایند پخت اختلاف معنی‌داری برای هر دو رقم وجود دارد به طوری که پس از پوست‌گیری مقدار سولانین کاهش نشان می‌دهد، ولی پیش و پس از پخت مقدار آن اختلاف معنی‌داری ندارد. این یافته‌ها با گزارش موندی و گاسلین (۱۱) هم‌خوانی دارد، به نحوی که مقدار سولانین در وزن خشک پیش و پس از پخت سیب‌زمینی به صورت جوشاندن در آب به مدت ۱۵ دقیقه تفاوت

## منابع مورد استفاده

1. Abdel-Gawad, A., E. A. Omer and S. S. Ahmed. 1992. Effect of storage on the glycoalkaloids and carbohydrate contents in different potato varieties. *Egypt. J. Hort.* 19(1): 81-92.
2. AOAC. 1975. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, 12<sup>th</sup> ed., Washington, D.C., USA.
3. Bushway, R. J. and L. B. Perkins. 1986. High performance liquid chromatographic separation of potato glycoalkaloids. *Chrom.* 12(2): 533-541.
4. Cadle, L. S. 1978. Thin-layer chromatographic system for identification and quantification of potato tuber glycoalkaloids. *J. Agric. Chem.* 26(6): 1453-1454.
5. Carman, A. S. 1986. Rapid high-performance liquid chromatographic determination of the potato glycoalkaloids,  $\alpha$ -solanine and  $\alpha$ -chaconine. *J. Agric. Food Chem.* 34(2): 279-282.
6. Fitzpatrick, T. J. and S. F. Osman. 1974. A comprehensive method for the determination of total potato glycoalkaloids. *Am. Potato J.* 51: 318-323.
7. Hellenas, K. E. 1995. Glycoalkaloid content of early potato varieties. *J. Sci. Food Agric.* 67: 125-128.
8. Hlywka, J. J., G. R. Stephenson, M. K. Sears and R. Y. Yada. 1994. Effects of insect damage on glycoalkaloid content in potatoes (*Solanum tuberosum*). *J. Agric. Food Chem.* 42(11): 2545-2550.
9. Lisinska, G. and W. Leszynski. 1989. *Potato Science and Technology*. Wroctaw, Poland.
10. Macrae, R., R. K. Robinson and M. J. Sadler. 1993. *Encyclopedia of Food Science: Food Technology and Nutrition*. Academic Press, Ltd., London, USA.

11. Mondy, N. I. and B. Gosselin. 1988. Effect of peeling on total phenols, total glycoalkaloids, discoloration and flavor of cooked potatoes. J. Food Sci. 53(3): 758-759.
12. Patil, B. C., D. K. Salunkhe and B. Singh. 1971. Metabolism of solanine and chlorophyll in potato tubers as affected by light and specific chemicals. J. Food Sci. 36: 474-476.
13. Porter, W. L. 1972. A note on the melting point of solanine (potatoes). Am. Potato J. 49: 403-406.
14. Salunkhe, D. K., M. T. Wuo and S. J. Jadhay. 1972. Effects of light and temperature on the formation of solanine in potato slices. J. Food Sci. 37: 969-970.
15. Shih, M. J. and J. Kuc. 1974.  $\alpha$  and  $\beta$ -solanine in Kennebec *Solanum tuberosum* leaves and aged tuber slices. Phytochem. 13: 997-1000.
16. Sinden, S. L. and R. E. Webb. 1972. Effect of variety and location on the glycoalkaloid content of potatoes. Am. Potato J. 49: 334-338.
17. Sizer, C. E., J. A. Maga and C. J. Craven. 1980. Total glycoalkaloids in potatoes and potato chips. J. Agric. Food Chem. 28(3): 578-579.
18. Sutton, W. R., O. M. P. Agarwala and G. M. Pigott. 1971. Effects on the alkaloid content of potatoes grown from seeds subjected to low-dose gamma irradiation. J. Food Sci. 36: 416-418.
19. Thomson, C. A. and P. Sporns. 1995. Fluorescence polarization immunoassays for potato glycoalkaloids. J. Agric. Food Chem. 43(1): 254-260.
20. Watson, O. H. 1987. Natural Toxicants in Food. The Camelot Press, Great Britain.