

## تغییرات میزان گلیکوآلکالوئید کل و آلفاسولانین در سیب زمینی در طول نگهداری و فرایند حرارتی

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

### چکیده

سه رقم سیب زمینی (*Solanum tuberosum*, L), مارفونای بهاره، کوزیما و مارفونای پاییزه از استان اصفهان تهیه، و در شرایط مختلف انبارداری شامل انبار سرد ۴ درجه سانتی گراد و تاریکی، انبار سرد ۱۲ درجه سانتی گراد 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 ۹۰ تا ۹۵ درصد بود. اندازه گیری گلیکوآلکالوئید کل، آلفاسولانین، وزن مخصوص و درصد ماده خشک در طول ۳۰ روز برای سیب زمینی رقم مارفونای بهاره، و ۹۰ روز برای ارقام پاییزه انجام گرفت. در آغاز، وسط و پایان انبارداری، مقدار آلفاسولانین بر حسب میلی گرم در هر یک از ارقام سیب زمینی، به روش کروماتوگرافی مایع با کارایی زیاد اندازه گیری شد. فرایند حرارتی تهیه چیپس و سیب زمینی پخته در سیب زمینی های ارجام 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 اندازه گیری گردید. طرح آزمایش، فاکتوریل در چارچوب طرح کاملاً تصادفی بود و مقایسه میانگین ها 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 غده ها در نیمه دوم انبارداری، مقدار سولانین در هر دو رقم کاهش یافت. برخلاف این که پوست گیری، پیش از سرخ کردن و پس از پخت باعث کاهش مقدار سولانین در سیب زمینی در هر دو رقم شد، فرایند سرخ کردن برای تهیه چیپس و پختن در آب جوش هیچ تأثیری در مقدار سولانین نمونه ها نداشت. بنابراین، بهترین روش انبارداری سیب زمینی از نظر کمترین افزایش در میزان آلفاسولانین، انبار سرد ۴ درجه سانتی گراد و تاریکی است.

**واژه های کلیدی:** آلفاسولانین، انبارداری سیب زمینی، کروماتوگرافی با کارایی زیاد، گلیکوآلکالوئید، سولانوم توبروزوم

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

## مقدمه

روز نگهداری بوده است. در مورد اثر شدت نور، پاتیل و همکاران (۱۲) دریافتند که قرار گرفتن غدهای سیب زمینی در برابر نور سفید فلورسنت باشدت ۱۰۰ فوت کندل (Foot-candles) حساسیت به افزایش گلیکوآلکالوییدها 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 سیب زمینی در تاریکی و دماهای کمتر از صفر تا هشت درجه سانتی گراد، افزایش گلیکوآلکالوییدها به آرامی صورت می‌گیرد، و در دماهای بین ۱۵ و ۲۴ درجه سانتی گراد مقدار آن به هفت برابر مقدار اولیه می‌رسد. ولی در شدت ۲۰۰ فوت کندل نور فلورسنت و دمای بیش از ۲۴ درجه سانتی گراد مقدار آنها ۴-۳ برابر نسبت به نگهداری در تاریکی افزایش پیدا می‌کند.

در مورد تأثیر فرایندهای حرارتی بر مقدار گلیکوآلکالوییدها در سیب زمینی 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)، گلیکوآلکالوییدها در دمای ۲۶۰-۲۷۰ درجه سانتی گراد، که حدود ۸۰-۷۰ درجه سانتی گراد بالاتر از دمای سرخ کردن سیب زمینی است، از بین می‌روند. در سال ۱۹۸۰ سایزر و همکاران (۱۷) گزارش کردند که سرخ کردن سیب زمینی برای چیپس در مقدار گلیکوآلکالویید اثری ندارد، و آنچه موجب کاهش گلیکوآلکالوییدها در محصولات سرخ شده می‌شود پوست‌گیری از غدهای سیب زمینی پیش از فرایند است. در سال ۱۹۸۸ موندی و گاسلین (۱۱) اثر پوست‌گیری در گلیکوآلکالوییدها را در سه روش پخت جوشاندن در آب مقطر، جوشاندن در آب نمک ۱۶ درصد و بخار دادن سیب زمینی بررسی، و گزارش کردند که مقدار گلیکوآلکالویید سیب زمینی‌های پخته شده با پوست، در هر سه روش پخت بیشتر از سیب زمینی‌های پخته شده بدون پوست بوده است. ابتدايی ترین روشی که برای اندازه‌گیری گلیکوآلکالوییدها به

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 هكتار بیشتری را نسبت به محصولات غله‌ای جهان تولید می‌کند. در غدهای سیب زمینی، وقتی در معرض نور یا جوانه‌زنی قرار بگیرند نوعی آalkaloid سمی تولید می‌شود که مقادیر زیاد آن موجب مسمومیت می‌گردد. در حالت طبیعی مقدار آن ۱۰-۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم سیب زمینی تازه است، که بیشتر در نواحی سطحی و زیر پوست غده، جوانه‌های روی آن، و پیرامون چشم‌ها وجود دارد (۱۰). مصرف سیب زمینی که بیش از ۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن مرتبط گلیکوآلکالویید داشته باشد، ایجاد مسمومیت می‌کند (۲۰). گلیکوآلکالوییدها از یک بخش غیر قندی (Aglycone) استروییدی نیتروژن‌دار و یک زنجیره قندی که به کربن شماره ۳ آن متصل شده است، ساخته شده‌اند. بیش از ۹۵ درصد گلیکوآلکالوییدهای سیب زمینی را آلفاسولانین و آلفاچاکونین تشکیل می‌دهند (۱۰).

مقدار آalkaloid در سیب زمینی 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 آalkaloid 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 گلیکوآلکالوییدها در سیب زمینی 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 آalkaloidها افزایش می‌یابد (۷). در مورد شرایط انبارداری سیب زمینی، عبدالجواد و همکاران (۱) گزارش کردند که مقدار آalkaloidها در انبار خانگی، که بدون کنترل دما و رطوبت است، حدود دو برابر بیشتر از نگهداری در یخچال هفت درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۹۰ درصد در مدت ۹۰

روز. در هر چهار انبار رطوبت نسبی حدود ۹۰ تا ۸۵ 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 چیپس در روغن داغ (۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶-۴ 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، متانول، کلروفرم، آمونیاک، اتانول، فسفریک اسید و فرمالدیید، 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 الكل اتانول ۹۶ درجه از شرکت بیدستان قزوین استفاده شد. روغن مایع آفتاب‌گردان غنچه نیز در تهیه چیپس 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 خلاً مدل هرایوس (Heraeus) ساخت سوئد، ترازوی اندازه‌گیری رطوبت (Moisture balance) مدل اهایوس (Ohaus) ساخت آمریکا و سانتریفوژ ۶۰۰۰ دور در دقیقه مدل هتچ (Hettich) ساخت آلمان، دستگاه تبخیر گردشی بوخی (Buchi) ساخت سوئد، سیستم کروماتوگرافی مایع با کارایی زیاد شیمادزو ساخت ژاپن، دستگاه پوست‌گیری سایشی اگاوسیکی (Ogawaseiki) ساخت ژاپن و دستگاه اسپکتروفوتومتر کام اسپک (Camspac) دوفام ساخت انگلستان.

### روش‌ها

در طی مدت انبارداری تحت شرایط مختلف، سه مرتبه

وسیله فیترپاتریک و عثمان (۶) به کار گرفته شد روش تیتریمتریک بود. پس از آن روش‌های کروماتوگرافی لایه نازک (Thin layer chromatography, TLC)، کروماتوگرافی گازی و اسپکتروفوتومتری 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 سریع تر آزمایش برخوردار بود. ولی بهترین روشی که تاکنون ارائه شده، روش ایمیونواسی (Immunoassay) است، که دقیق، حساس و ساده بوده و به خاطر اختصاصی بودنش می‌تواند مشکلات استخراج و خالص سازی 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 اوخر خردادماه سال ۱۳۷۸ و ارقام پاییزه در اوخر 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 شباه روزی، 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 گلیکوآلکالوئید کل، نخست مقدار معین سیب‌زمینی انبار شده با اتانل ضدعفونی شد، و سپس به صورت ورقه‌هایی بین دو کاغذ مرطوب در پتري‌دیش‌هایی در دمای اتاق به مدت چهار روز نگهداری گردید. پوست این ورقه‌ها جدا شد و پس از خشک کردن در آون تحت خلاً به صورت پودر خشک تهیه گردید (۱۵). با استفاده از محلول کلروفرم-استیک اسید-متانل (۹:۱:۱۰)، گلیکوآلکالوئید کل از این پودر استخراج شد. به منظور خالص سازی عصاره حاصل، با استفاده از یک قیف جدا کننده، مقدادر بیشتری کلروفرم و استیک اسید به محصول اضافه و فاز حلال آلى جداسازی شد. محلول به دست آمده تحت خلاً در دستگاه تبخیر گردشی تغليظ، 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 کلروفرم-اتانل-آمونیوم هیدروکسید (۱:۲:۲) حل، و مجدداً حلال آن تبخیر شد. سپس در مخلوط استیک اسید، فسفریک اسید و پارافرمالدیید حل گردید. محلول سولانین استاندارد نیز به همین روش تهیه شد و سپس با استفاده از پارافرمالدیید 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 SAS فاکتوریل در چارچوب طرح کاملاً تصادفی، و نرم‌افزار برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری درصد ماده خشک برای سیب‌زمینی رقم مارфонای 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 تعطیر با تولوئن 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 بنفسن 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 آمونیوم 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  $6 \times 150$  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 مقدادر کمی سولانین در نمونه‌ها رسم شد، و شناساگر اسپکتروفوتومتر 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 پاییزه									
	کوزیمای پاییزه	مارفونای بهاره	زمان (روز)							
	۹۰	۴۵	۰	۹۰	۴۵	۰	۳۰	۱۵	۰	
۴ درجه سانتی گراد و تاریکی	۱۸/۷	۱۸/۶	۱۸/۳	۲۲/۷	۲۲/۷	۲۲/۰	۱۶/۶	۱۶/۵	۱۶/۵	
۱۲ درجه سانتی گراد و نور فلورسنت	۱۸/۸	۱۸/۶	۱۸/۳	۲۲/۹	۲۲/۸	۲۲/۵	۱۷/۲	۱۶/۶	۱۶/۵	
دما اتاق و تاریکی	۱۹/۰	۱۸/۷	۱۸/۳	۲۳/۲	۲۲/۹	۲۲/۵	۱۷/۶	۱۷/۰	۱۶/۵	
دما اتاق و نور روز	۲۰/۰	۱۹/۱	۱۸/۳	۲۴/۱	۲۳/۰	۲۲/۵	۱۸/۱	۱۷/۱	۱۶/۵	

هم‌بستگی منحنی مذبور ۹۹٪ بود. در شکل ۱ کروماتوگرام مربوط به استاندارد سولانین و متانول 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 دقایق ۲/۱، ۲/۴ و ۲/۸ دیده می‌شود، که مربوط به حلال مورد استفاده یعنی متانول می‌باشد. این موضوع در مقایسه کروماتوگرام متانول با استاندارد سولانین آشکار است. در شکل ۱ گرماتوگرام‌های آلفاسولانین استاندارد، حلال متانول 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 سانتی گراد و نور فلورسنت، با دیگر انبارها در سطوح ۱ و ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارد. انبارها دیگر از نظر مقدار افزایش سولانین اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. همان گونه که دیده می‌شود، وجود منع سوری 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 دما اتاق و نور روز دارای

شدۀ است. برابر این نتایج، در انبارهای با دما 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 زودهنگام سیب‌زمینی باعث کمتر شدن ماده خشک آن می‌شود.

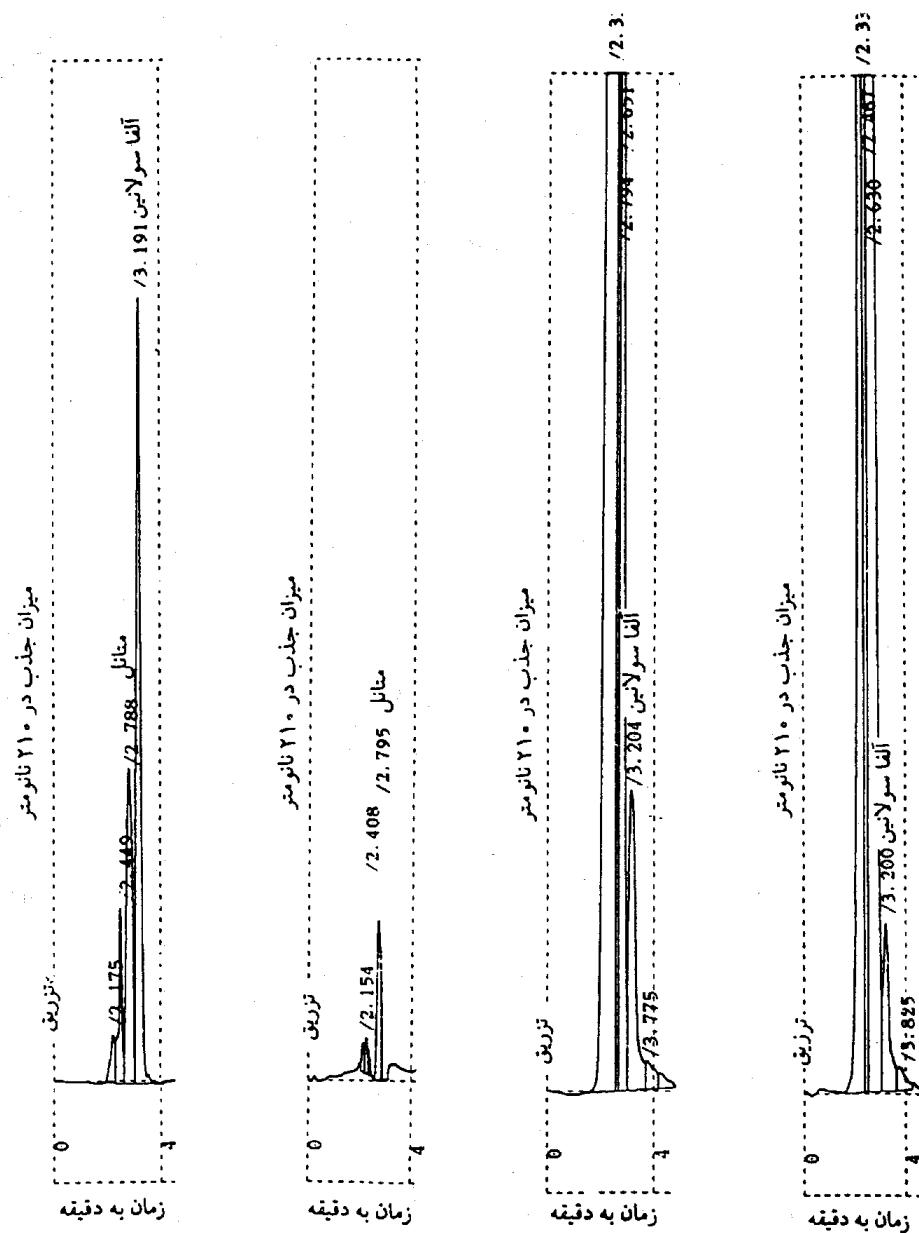
نتایج اندازه‌گیری وزن مخصوص برای ارقام سیب‌زمینی مورد آزمایش در جدول ۲ آمده است. برابر نتایج جداول ۱ و ۲، تغییرات ماده خشک و وزن مخصوص رابطه مستقیم دارند. بر پایه نتایج پژوهش لیزینسکا و لژینسکی (۹)، افزایش در ماده خشک باعث افزایش وزن مخصوص می‌گردد.

نتایج کروماتوگرافی لایه نازک (TLC) نشان داد که  $R_f$  (Retention factor) روی فاز ثابت سیلیکاژل و فاز متحرک متانول برای استاندارد سولانین برابر  $0/5$  بود. با استفاده از  $R_f$  به دست آمده، می‌توان وجود سولانین را در عصارة یک نمونه، که تحت شرایط یکسان تجزیه شده باشد، تعیین کرد.

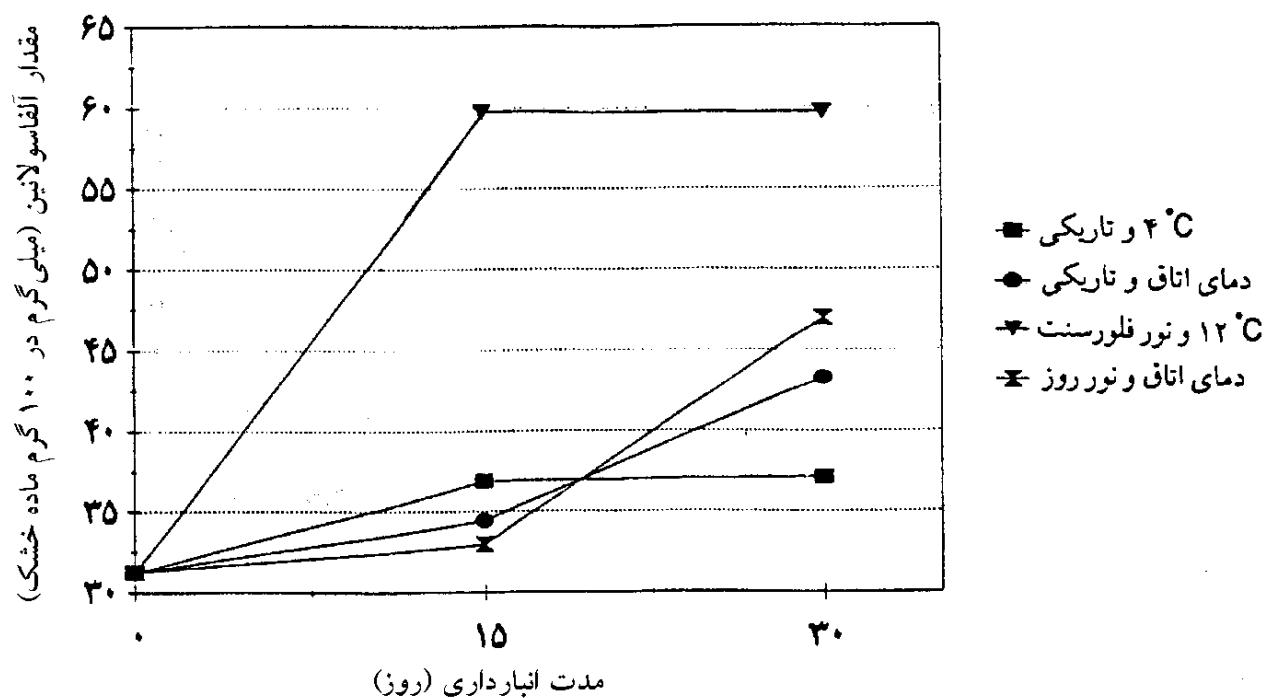
برای تعیین منحنی استاندارد سولانین روش استاندارد داخلی (Internal standard) به کار برده شد، که با تطبیق سطح زیر نقطه فراز به دست آمده از نمونه‌ها با منحنی استاندارد، میزان غلظت سولانین در نمونه‌ها به دست آمد. ضریب

## جدول ۲. تغییرات وزن مخصوص سیب زمینی تحت شرایط مختلف انبارداری

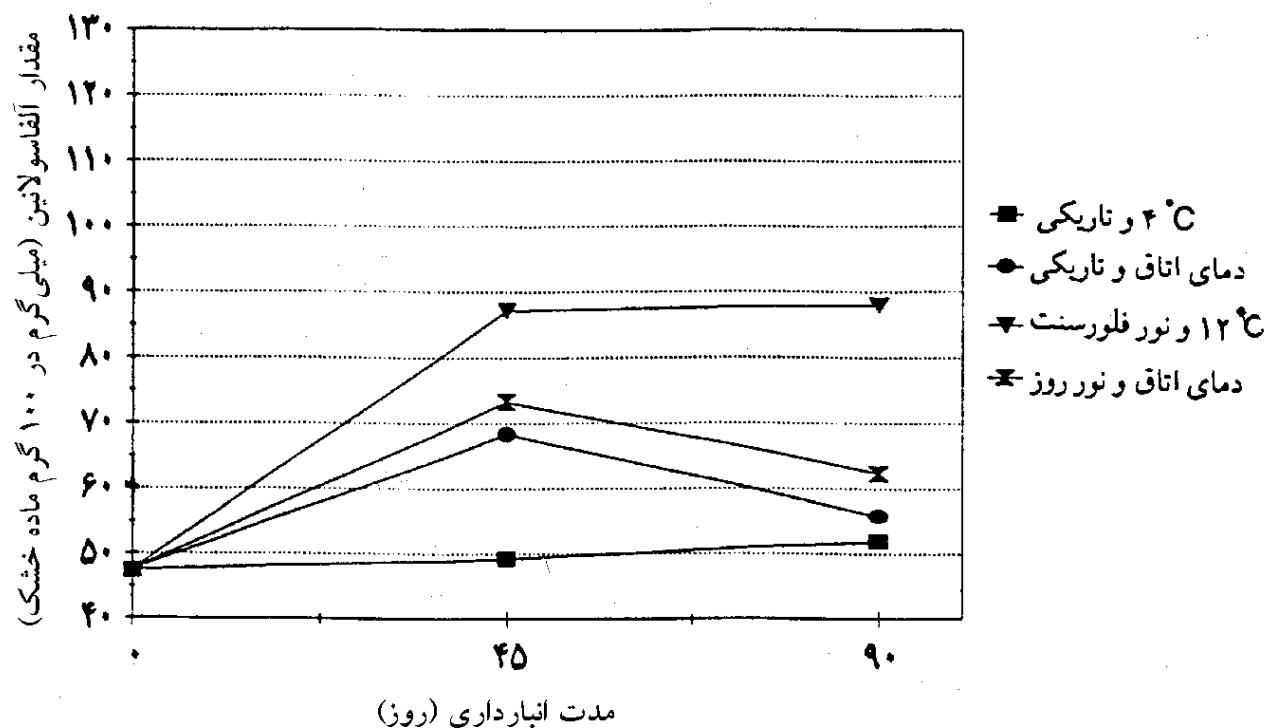
شرایط انبارداری	زمان (روز)	زمان (روز)	زمان (روز)	زمان (روز)	کوزیمای پاییزه	مارفونای بهاره				
	شروع	۴۵	۹۰	۹۰	شروع	۴۵	۹۰	۹۰	۹۰	شروع
۴ درجه سانتی گراد و تاریکی	۱/۰۵۹	۱/۰۵۸	۱/۰۵۸	۱/۰۸۰	۱/۰۸۰	۱/۰۷۸	۱/۰۵۱	۱/۰۵۱	۱/۰۵۰	۱/۰۵۰
۱۲ درجه سانتی گراد و نور فلورسنت	۱/۰۶۲	۱/۰۵۹	۱/۰۵۸	۱/۰۸۲	۱/۰۸۰	۱/۰۷۸	۱/۰۵۳	۱/۰۵۲	۱/۰۵۰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



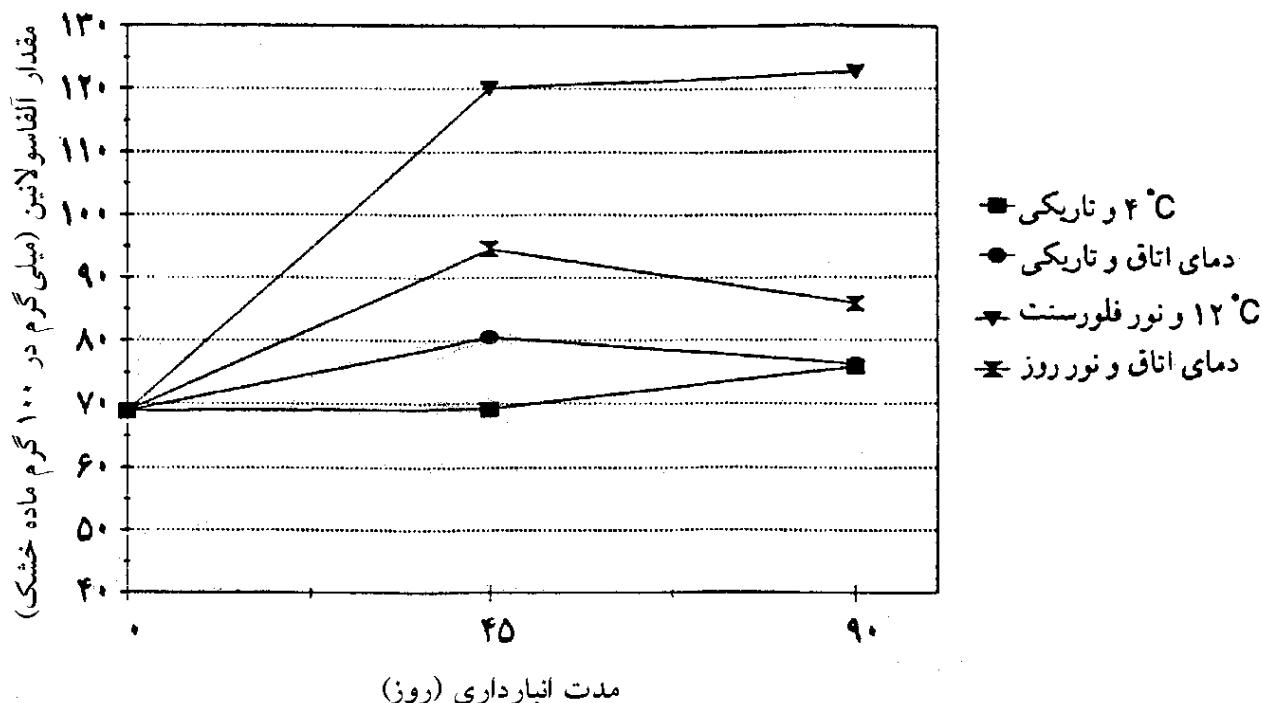
شکل ۱. کروماتوگرام‌های HPLC آلفاسولانین استاندارد و حلal متانول و آلفاسولانین موجود در نمونه‌های سیب زمینی رقم مارفونا پس از ۴۵ روز در ۱۲ درجه سانتی گراد و نور فلورسنت و رقم کوزیما پس از ۴۵ روز در دما اتاق و نور روز



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



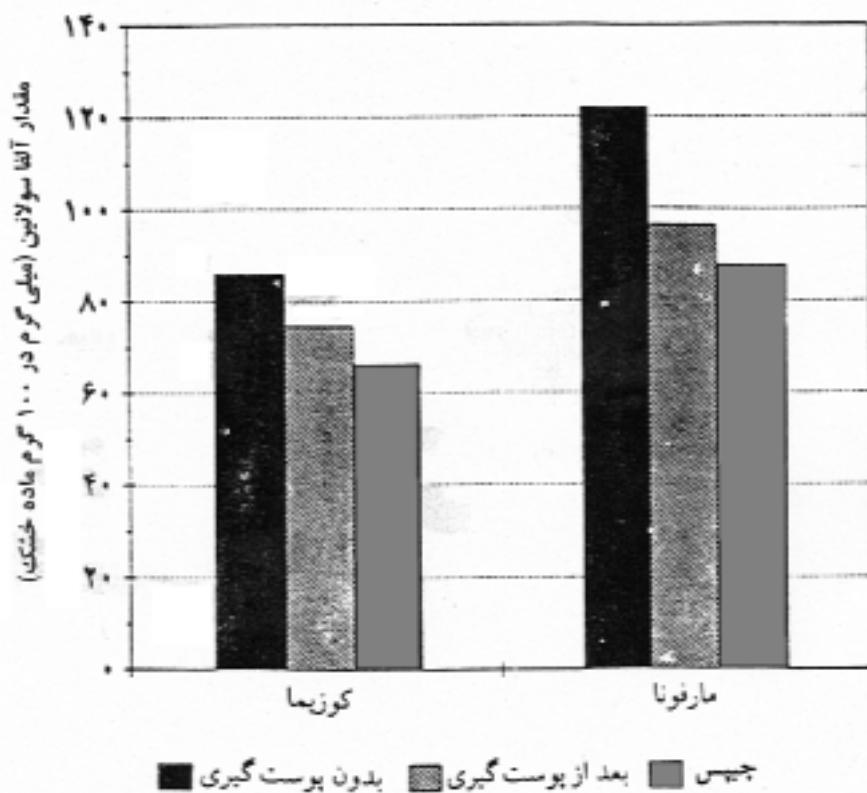
شکل ۴. تغییرات آلفاسولانین در رقم مارفونای پاییزه طی ۹۰ روز انبارداری در شرایط مختلف

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 بهمن ماه سال ۱۳۷۷ تا اواخر خرداد ماه سال ۱۳۷۸ بوده، در حالی که رقم پاییزه فصل رشد خود را در تابستان طی کرده (اواسط اردیبهشت تا اواخر مهرماه)، که هوا کاملاً آفتابی و گرم بوده است. این یافته با گزارش هلیوکا و همکاران (۱۸)، که زمان کشت غده‌های سیب‌زمینی را در ایجاد اختلاف سولانین مؤثرتر از تفاوت ارقام می‌دانند، هم خوانی دارد.

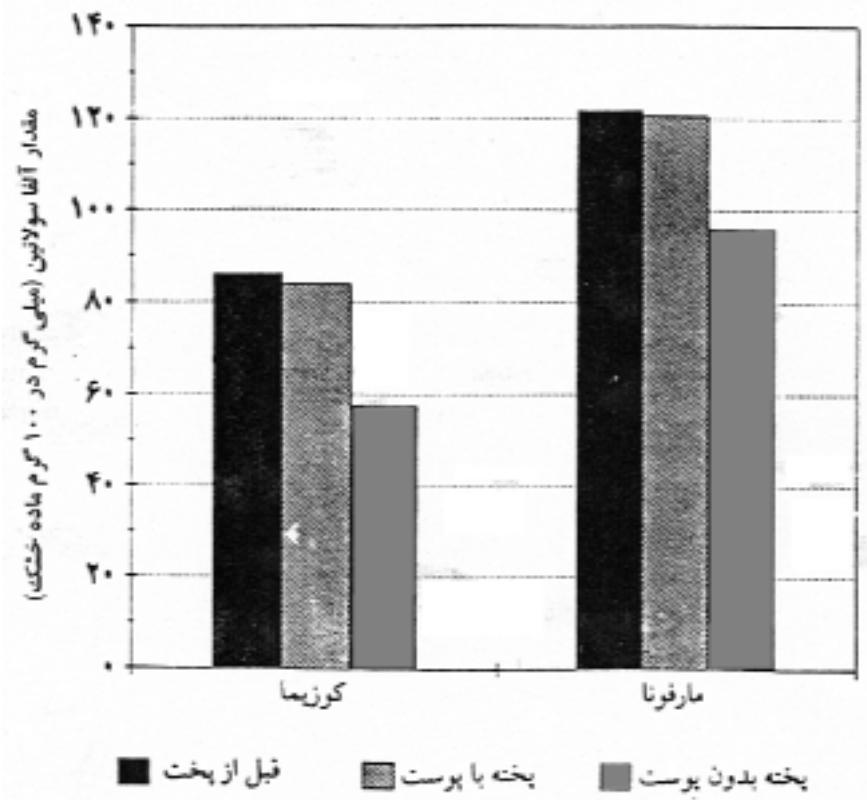
با توجه به شکل ۵، مراحل فرایند حرارتی بر میزان سولانین موجود در چپس رقم کوزیمای پاییزه در سطوح ۱ و ۵ درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند، ولی برای رقم مارفونای پاییزه بین مرحله پیش و پس از پوست‌گیری اختلاف معنی دار وجود دارد، به طوری که پس از پوست‌گیری مقدار سولانین کاهش پیدا کرده است. ولی فرایند حرارتی سرخ کردن در روغن در ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶-۴ 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 واسطه 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 چپس از نمونه‌های مختلف سیب‌زمینی



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

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

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر	رقم و شرایط انبارداری
۱۰/۶۴***	۶۰۲/۳	۳۰۱۱/۶	۵	مدل	انبار ۴ درجه سانتی گراد و تاریکی
۵۰/۳۱***	۲۸۴۷/۱	۲۸۴۷/۱	۱	رقم	
۱/۳۱ <sup>ns</sup>	۷۴/۴	۱۴۸/۸	۲	زمان	
-	۵۶/۶	۱۰۱۸/۷	۱۸	خطا	
۲۷/۴۳***	۳۳۸۶/۶	۱۶۹۳۸/۲	۵	مدل	انبار ۱۲ درجه سانتی گراد و نور فلورستن
۴۲/۸۱***	۵۲۸۶/۶	۵۲۸۶/۶	۱	رقم	
۴۶/۳***	۵۷۲۳/۳	۱۱۴۴۶/۵	۲	زمان	
-	۱۲۳/۵	۲۲۲۲/۹	۱۸	خطا	
۱۷/۸۶***	۶۲۴/۷	۳۱۲۳/۶	۵	مدل	انبار با دمای اتاق و تاریکی
۵۶/۱***	۱۹۶۳/۹	۱۹۶۳/۹	۱	رقم	
۱۵/۱***	۵۲۹/۱	۱۰۵۸/۲	۲	زمان	
-	۳۵/۰	۷۲۹/۶۹	۱۸	خطا	
۱۲/۰۵***	۱۱۲۷/۹	۵۶۳۹/۶	۵	مدل	انبار با دمای اتاق و نور روز
۳۱/۲۹***	۲۹۳۰/۵	۲۹۳۰/۵	۱	رقم	
۱۴/۴۳***	۱۳۵۱/۷	۲۷۰۳/۴	۲	زمان	
-	۹۳/۶	۱۶۸۵/۶	۱۸	خطا	
۱۱/۷۸***	۴۵۰/۹	۴۹۰۹/۷	۱۱	مدل	مارفونای بهاره در طی ۳۰ روز
۱۵/۷۷***	۶۰۳/۵	۱۸۱۰/۴	۳	نوع انبار	
۲۵/۶۳***	۹۸۰/۷	۱۹۶۱/۳	۲	زمان	
-	۳۸/۳	۱۳۷۷/۶	۳۶	خطا	
۱۲/۸۹***	۹۴۴/۸	۱۰۳۹۳/۲	۱۱	مدل	کوزیمای پاییزه در طی ۹۰ روز
۱۸/۷۶***	۱۲۷۵/۶	۳۸۲۶/۹	۳	نوع انبار	
۱۳/۵۱***	۲۱۴۳/۱	۴۲۸۷/۳	۲	زمان	
-	۶۸/۰	۲۴۴۸/۲	۳۶	خطا	
۱۷/۵۸***	۱۰۱۷/۸	۱۶۶۹۵/۶	۱۱	مدل	مارفونای پاییزه در طی ۹۰ روز
۲۹/۳۶***	۲۵۲۵/۶	۷۵۷۶/۹	۳	نوع انبار	
۲۹/۲۱***	۲۵۲۳/۳	۵۰۶۴/۷	۲	زمان	
-	۸۶/۴	۳۱۰۸/۵	۳۶	خطا	

\*\*\* : 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 فلورستن

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

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) هم خوانی دارد که آنچه موجب کاهش مقدار سولانین طی فرایند تهیه چپس 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) هم خوانی 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

- 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.
- AOAC. 1975. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, 12<sup>th</sup> ed., Washington, D.C., USA.
- Bushway, R. J. and L. B. Perkins. 1986. High performance liquid chromatographic separation of potato glycoalkaloids. Chrom. 12(2): 533-541.
- Cadle, L. S. 1978. Thin-layer chromatographic system for identification and quantification of potato tuber glycoalkaloids. J. Agric. Chem. 26(6): 1453-1454.
- 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.
- Fitzpatrick, T. J. and S. F. Osman. 1974. A comprehensive method for the determination of total potato glycoalkaloids. Am. Potato J. 51: 318-323.
- Hellenas, K. E. 1995. Glycoalkaloid content of early potato varieties. J. Sci. Food Agric. 67: 125-128.
- 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.
- Lisinska, G. and W. Leszynski. 1989. Potato Science and Technology. Wroctaw, Poland.
- 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. Wu 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  $\beta$ -solamarine 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.