تغییرات میزان گلیکوآلکالویید کل و آلفاسولانین در سیب‌زمینی در طول نگهداری و فرایند حرارتی

شهرام دخانی، جواد کرامت و شیوا روفی‌گری حقیقت[1]

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 ٤ 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 گلیکوآلکالویید 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 ٤ درجه سانتی‌گراد و تاریکی است.

واژه‌های کلیدی: *آلفاسولانین، انبارداری سیب‌زمینی، کروماتوگرافی با کارایی زیاد، گلیکوآلکالویید، سولانوم توبروزوم*

---

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.14.5]

مقدمه

سیب زمینی جزو غذاهای اصلی مـردم جـهان و در ردهٔ چـهارم پس از گندم، ذرت و برنج اســت، و حـدود ٤٧ درصـد از کـل محصولات غده‌ای تولید شده را در بر می‌گیرد. از نظر نشاسـته، مواد معدنـی و ویتـامین C دارای ارزش زیـادی اسـت و مـیزان پروتئین در هکتار بیشتری را نسبت به محصولات غله‌ای جـهان تولید می‌کند. در غده‌های سیب زمینی، وقتی در معرض نـور یـا جوانه‌زنی قرار بگیرند نوعی آلکالویید سمی تولیـد می‌شـود کـه مقادیر زیاد آن موجب مســمومیت مـی‌گردد. در حـالت طبیعـی مقدار آن ٥-١٠ میلی‌گرم در ١٠٠ گرم سیب‌زمینی تازه است، که بیشتر در نواحی سطحی و زیر پوست غده، جوانه‌های روی آن، و پیرامون چشـم‌ها وجـود دارد (١٠). مصـرف سـیب‌زمینی کـه بیش از ٢٠ میلی‌گرم در ١٠٠ گرم وزن مرطوب گلیکوآلکـالویید داشته باشد، ایجاد مسمومیت می‌کند (٢٠). گلیکوآلکالوییدهـا از یک بخش غیر قندی (Aglycone) استروییدی نیتروژن‌دار و یک زنجیرهٔ قندی که به کربن شماره ٣ آن متصل شده است، سـاخته شده‌اند. بیش از ٩٥ درصـد گلیکوآلکالوییدهـای سـیب‌زمینی را آلفاسولانین و آلفاچاکونین تشکیل می‌دهند (١٠).

مقدار آلکالویید در سیب‌زمینی بـه سـه عـامل بسـتگی دارد: عامل اول که از اهمیت بسیاری برخوردار است، عـامل ژنتیکـی می‌باشد. به نحوی که واریتـه‌های خـودرو دارای مقـادیر بسـیار زیادی آلکالویید هستند. عامل دوم شرایط کاشت و داشت، مانند نوع خاک، محل کشت و پرورش گیاه، آب و هـوا و سـن غـده است (١٦ و ٢٠). سومین عامل در تغییر میزان گلیکوآلکالوییدها در سـیب‌زمینی عملیـات پـس از برداشـت اســت. تنش‌هــای مکانیکی و شیمیایی، شرایط انبـارداری و در معـرض نـور قـرار گرفتن تأثیر شدیدی بر مقدار آنها دارد. پس از هرگونه صدمه‌ای به گیاه یا غده میزان آلکالوییدها افزایـش می‌یـابد (٧). در مـورد شرایط انبارداری سیب‌زمینی، عبدالجواد و همکاران (١) گزارش کردند که مقدار آلکالوییدها در انبار خانگی، که بدون کنترل دمـا و رطوبت است، حدود دو برابر بیشتر از نگهـداری در یخچـال هفت درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ٩٠ درصد در مـدت ٩٠ روز نگهداری بـوده اسـت. در مـورد اثـر شـدت نـور، پـاتیل و همکاران (١٢) دریافتند که قرار گرفتن غده‌های سـیب‌زمینی در برابـر نـور سـفید فلورسـنت بـا شـدت ١٠٠ فـوت کنـدل (Foot-candles) حساسـیت بـه افزایــش گلیکوآلکالوییدهــا و تجمع کلروفیل را نسبت به قرار گرفتن در شـدت نورهـای ٥٠، ١٥٠ و ٢٠٠ فوت کندل بیشتر می‌کند. بر پایهٔ پژوهش سـالونخه و همکاران (١٤) روی اثر هم‌زمان نـور و دمـا طـی ٤٨ سـاعت نگهداری برش‌های سیب‌زمینی در تـاریکی و دماهـای کمـتر از صفر تا هشت درجه سانتی‌گراد، افزایـش گلیکوآلکالوییدهـا بـه آرامـی صـورت مـی‌گیـرد، و در دماهـای بیـن ١٥ و ٢٤ درجـه سانتی‌گراد مقدار آن به هفت برابر مقدار اولیه می‌رسد. ولـی در شدت ٢٠٠ فوت کندل نور فلورسنت و دمای بیش از ٢٤ درجـه سانتی‌گراد مقدار آنها ٣-٤ برابر نسبت به نگهـداری در تـاریکی افزایش پیدا می‌کند.

در مورد تأثیر فرایندهای حرارتی بر مقدار گلیکوآلکالوییدها در سیب‌زمینی اطلاعات زیادی در دسترس نیسـت. ولـی آنچـه تاکنون مشخص شده این است که آلفاسولانین و آلفاچاکونین به دمای خیلی زیاد در مدت کوتاه مقـاوم‌اند. برابـر گزارش پورتـر (١٣)، گلیکوآلکالوییدها در دمای ٢٦٠-٢٧٠ درجـه سـانتی‌گراد، که حدود ٧٠-٨٠ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای سـرخ کـردن سـیب‌زمینی اسـت، از بیـن می‌رونـد. در سـال ١٩٨٠ سـایزر و همکاران (١٧) گزارش کردند که سرخ کردن سـیب‌زمینی بـرای چیپس در مقدار گلیکوآلکالویید اثـری نـدارد، و آنچـه موجـب کاهش گلیکوآلکالوییدهــا در محصـولات سـرخ شـده می‌شـود پوست‌گیری از غده‌های سـیب‌زمینی پیـش از فراینـد اسـت. در سـال ١٩٨٨ مونـدی و گاسـلین (١١) اثــر پوســت‌گیــری در گلیکوآلکالوییدها را در سه روش پخت جوشاندن در آب مقطر، جوشـاندن در آب نمـک ١٦ درصـد و بخـار دادن سـیب‌زمینی بررســی، و گزارش کردنــد کــه مقــدار گلیکوآلکــالویید سیب‌زمینی‌های پخته شده با پوســت، در هـر سـه روش پخـت بیشتر از سیب‌زمینی‌های پخته شده بدون پوست بوده است.

ابتدایی‌ترین روشی که برای اندازه‌گیری گلیکوآلکالوییدها به

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.14.5]

وسیلهٔ فیتزپاتریک و عثمان (٦) به کار گرفته شد روش تیتریمتریک 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 ١٩٨٦ بوشوی و پرکینز (٣) 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 گلیکوآلکالوییدها از یکدیگر و انجام سریع‌تر 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 (١٩).

در پژوهش حاضر تغییرات میزان گلیکوآلکالویید 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 ٩٠ روز و رقم بهاره ٣٠ روز اندازه‌گیری شد. اثر فرایند حرارتی بر این ارقام نیز بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

مواد و دستگاه‌ها

مقدار ٢٥ 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 ١٣٧٨ و ارقام پاییزه در اواخر مهرماه همان سال برداشت شده بود. مارفونای بهاره به مدت ٣٠ روز و ارقام پاییزه به مدت ٩٠ روز در چهار شرایط مختلف زیر انبار شد: الف) ٤ درجه سانتی‌گراد و تاریکی، ب) ١٢ درجه سانتی‌گراد و نور فلورسنت به طور شبانه‌روزی، ج) دمای اتاق و تاریکی و د) دمای اتاق و نور روز. در هر چهار انبار رطوبت نسبی حدود ٨٥ تا ٩٠ درصد تأمین گردید. دمای اتاق در انبارداری ارقام پاییزه به طور متوسط بین ٢٠ تا ٢٣ درجهٔ سانتی‌گراد و برای رقم بهاره بین ٢٥ تا ٢٨ درجهٔ سانتی‌گراد بود. مارفونای بهاره پس از ٣٠ روز انبارداری در دمای اتاق دچار فساد 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 (١٦٠ تا ١٨٠ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤-٦ دقیقه) و پختن در آب جوش (به مدت ٢٥ دقیقه) بود.

مواد شیمیایی به کار رفته عبارت بود از: استیک اسید گلاسیال، سدیم بی‌سولفیت، استونیتریل، دی هیدروژن آمونیوم فسفات، پترولیوم بنزن، متانل، کلروفرم، آمونیاک، اتانل، فسفریک اسید و فرمالدیید، که همگی با خلوص بیش از ٩٩ درصد و ساخت کمپانی مرک آلمان بود. هم‌چنین، از آلفاسولانین با خلوص ٩٥ درصد از شرکت سیگما آمریکا، و الکل اتانل ٩٦ درجه از شرکت بیدستان قزوین استفاده شد. روغن مایع آفتاب‌گردان غنچه نیز در تهیهٔ چیپس به کار رفت.

دستگاه‌های مورد استفاده در این آزمایش عبارت بود از: ترازوی حساس مدل متلر پی‌ال ١٢٠٠ (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 ٦٠٠٠ 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.14.5]

نمونه‌برداری شد و آزمایش‌های لازم صورت گرفت. نمونهٔ اول پیش از آغاز، نمونهٔ دوم در وسط و نمونهٔ سوم در پایان انبارداری انجام شد. در هر بار نمونه‌برداری هشت غدهٔ 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 درجهٔ سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد (۲). برای تأیید نتایج این روش، اندازه‌گیری رطوبت به روش تقطیر 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 صفحهٔ شیشه‌ای سیلیکاژل و حلال متانل و لامپ ماورای بنفش برای بررسی لکهٔ حرکت کرده روی صفحه به کار رفت (٤).

برای اندازه‌گیری مقدار سولانین در نمونه‌ها، نخست سولانین به وسیلهٔ محلول سدیم بی‌سولفیت در استیک اسید گلاسیال استخراج و عصارهٔ حاصل پس از سانتریفوژ کردن از صافی‌های میلی‌پور ۰/٤٥ 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 ٦×۱۵۰ میلی‌متر بود. با استفاده از محلول‌های استاندارد سولانین در غلظت‌های معین، ضمن تعیین زمان ماندگاری (Retention time)، بر اساس سطح زیر نقطهٔ فراز، منحنی واسنجی برای تعیین مقادیر کمّی 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 نمونهٔ 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 گلیکوآلکالویید کل، نخست مقدار معینی سیب‌زمینی انبار شده با اتانل ضدعفونی 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 کلروفرم-استیک اسید-متانل (۹:۱:۱۰)، گلیکوآلکالویید کل از این پودر استخراج شد. به منظور خالص سازی عصارهٔ حاصل، با استفاده از یک قیف جدا کننده، مقادیر بیشتری کلروفرم 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 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 ٦۰۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید (٤).

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.14.5]

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

شرایط انبارداری	مارفونای بهاره زمان (روز)			کوزیمای پاییزه زمان (روز)			مارفونای پاییزه زمان (روز)		
	۰	۱۵	۳۰	۰	٤۵	۹۰	۰	٤۵	۹۰
٤ درجه سانتی‌گراد و تاریکی	۱٦/۵	۱٦/۵	۱٦/٦	۲۲/۵	۲۲/۷	۲۲/۷	۱۸/۳	۱۸/٦	۱۸/۷
۱۲ درجه سانتی‌گراد و نور فلورسنت	۱٦/۵	۱٦/٦	۱۷/۲	۲۲/۵	۲۲/۸	۲۲/۹	۱۸/۳	۱۸/٦	۱۸/۸
دمای اتاق و تاریکی	۱٦/۵	۱۷/۰	۱۷/٦	۲۲/۵	۲۲/۹	۲۳/۲	۱۸/۳	۱۸/۷	۱۹/۰
دمای اتاق و نور روز	۱٦/۵	۱۷/۱	۱۸/۱	۲۲/۵	۲۳/۰	۲٤/۱	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 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 پایهٔ 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 عصارهٔ 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 نقطهٔ 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 نقطهٔ فراز سولانین که در دقیقه ۳/۲ مشخص شده است، نقاط دیگری هم در دقایق ۲/۱، ۲/٤ و ۲/۸ دیده می‌شود، که مربوط به حلال مورد استفاده یعنی متانل می‌باشد. این موضوع در مقایسهٔ کروماتوگرام متانل با استاندارد سولانین آشکار است. در شکل ۱ گروماتوگرام‌های آلفاسولانین استاندارد، حلال متانل و آلفاسولانین مربوط به ارقام مارفونا و کوزیما، پس از ٤۵ روز در شرایط انبارداری با نور فلورسنت و طبیعی نشان داده شده است. نقطهٔ 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 (۱٤) هم‌خوانی دارد.

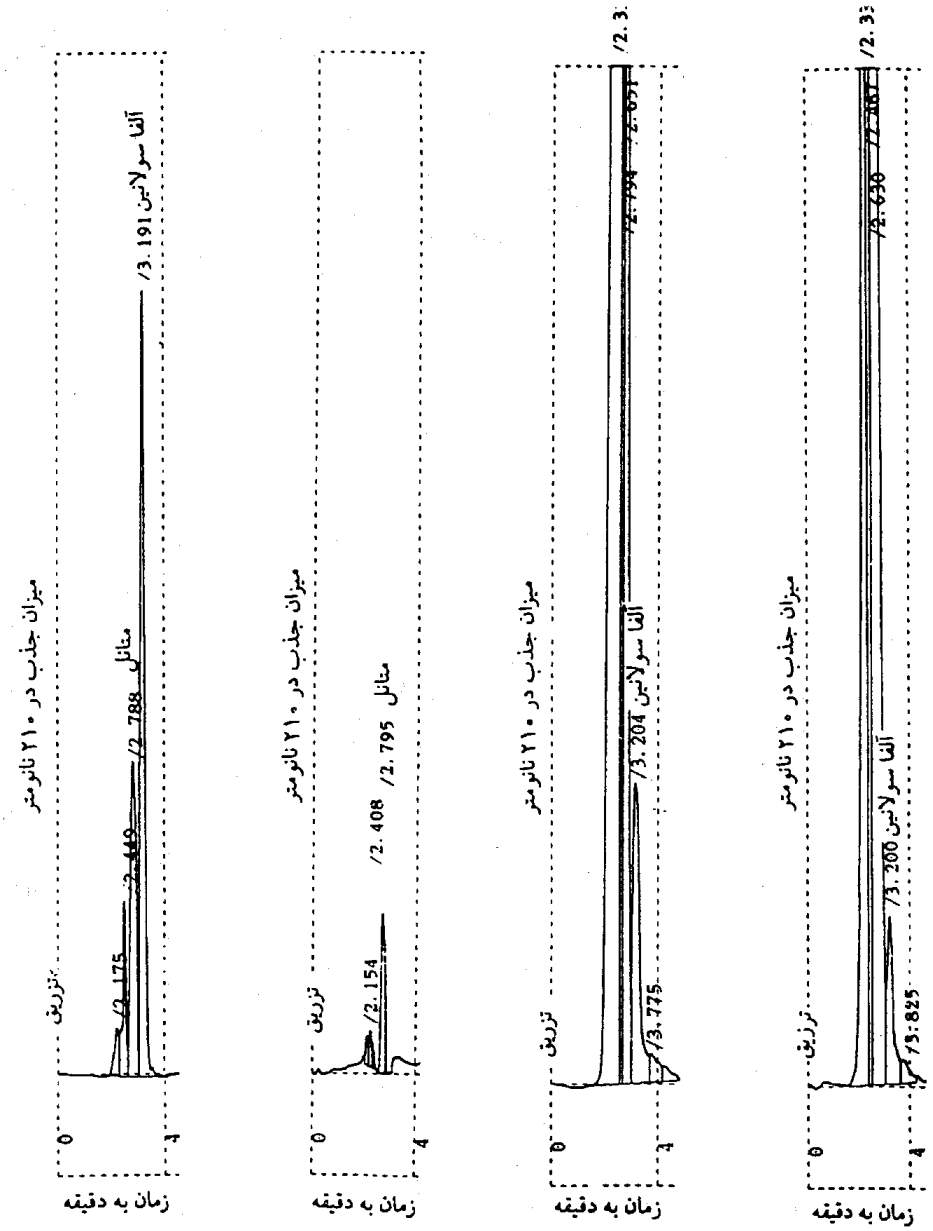
با توجه به شکل‌های ۳ و ٤ و با در نظر گرفتن ماده خشک در جدول ۲، مقدار سولانین ارقام پاییزه کوزیما و مارفونا در انبار سرد ۱۲ درجه و نور فلورسنت بیشتر از انبارهای دیگر است. پس از آن، نگهداری در دمای اتاق و نور روز دارای

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.14.5]

جدول ۲. تغییرات وزن مخصوص سیب‌زمینی تحت شرایط مختلف انبارداری

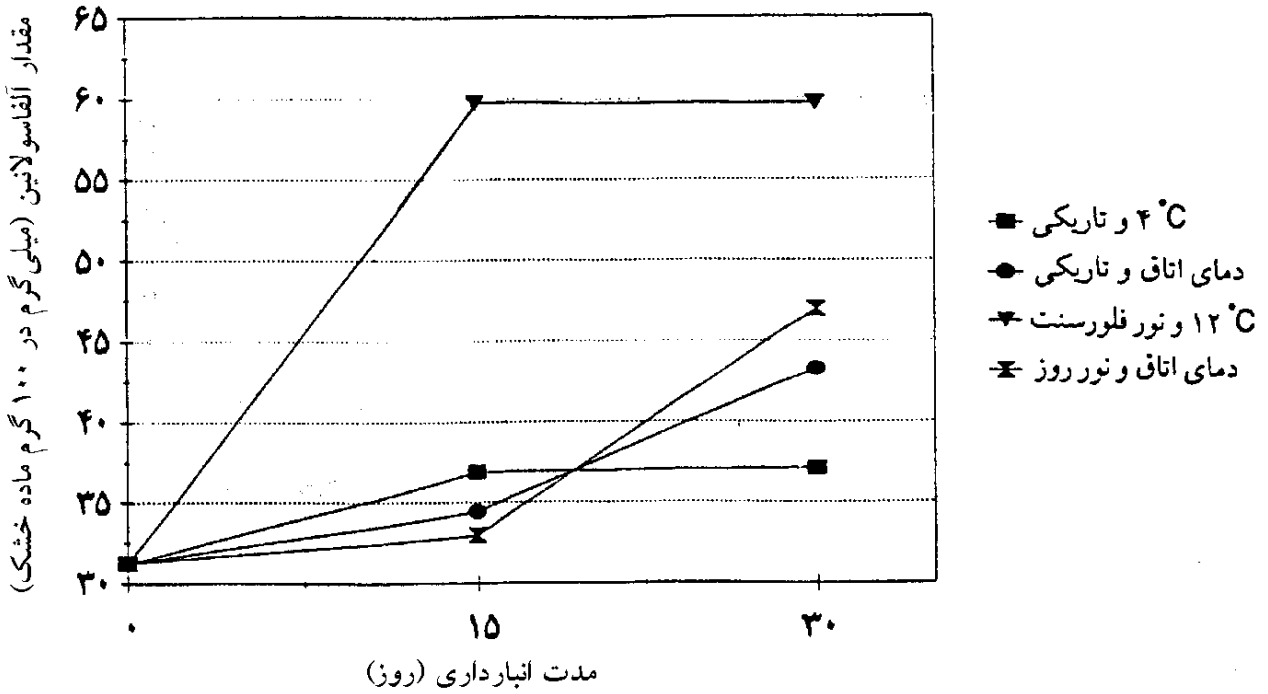
شرایط انبارداری	مارفونای بهاره			کوزیمای پاییزه			مارفونای بهاره		
	زمان (روز)			زمان (روز)			زمان (روز)		
	۰	۱۵	۳۰	۰	۴۵	۹۰	۰	۴۵	۹۰
٤ درجه سانتی‌گراد و تاریکی	۱/۰۵۰	۱/۰۵۱	۱/۰۵۱	۱/۰۷۸	۱/۰۸۰	۱/۰۸۰	۱/۰۵۸	۱/۰۵۸	۱/۰۵۹
۱۲ درجه سانتی‌گراد و نور فلورسنت	۱/۰۵۰	۱/۰۵۲	۱/۰۵۳	۱/۰۷۸	۱/۰۸۰	۱/۰۸۲	۱/۰۵۸	۱/۰۵۹	۱/۰٦۲
دمای اتاق و تاریکی	۱/۰۵۰	۱/۰۵٤	۱/۰۵۵	۱/۰۷۸	۱/۰۸٤	۱/۰۸۵	۱/۰۵۸	۱/۰۵۹	۱/۰٦٤
دمای اتاق و نور روز	۱/۰۵۰	۱/۰۵٤	۱/۰۵۷	۱/۰۷۸	۱/۰۸۵	۱/۰۸۸	۱/۰۵۸	۱/۰٦۰	۱/۰٦٦



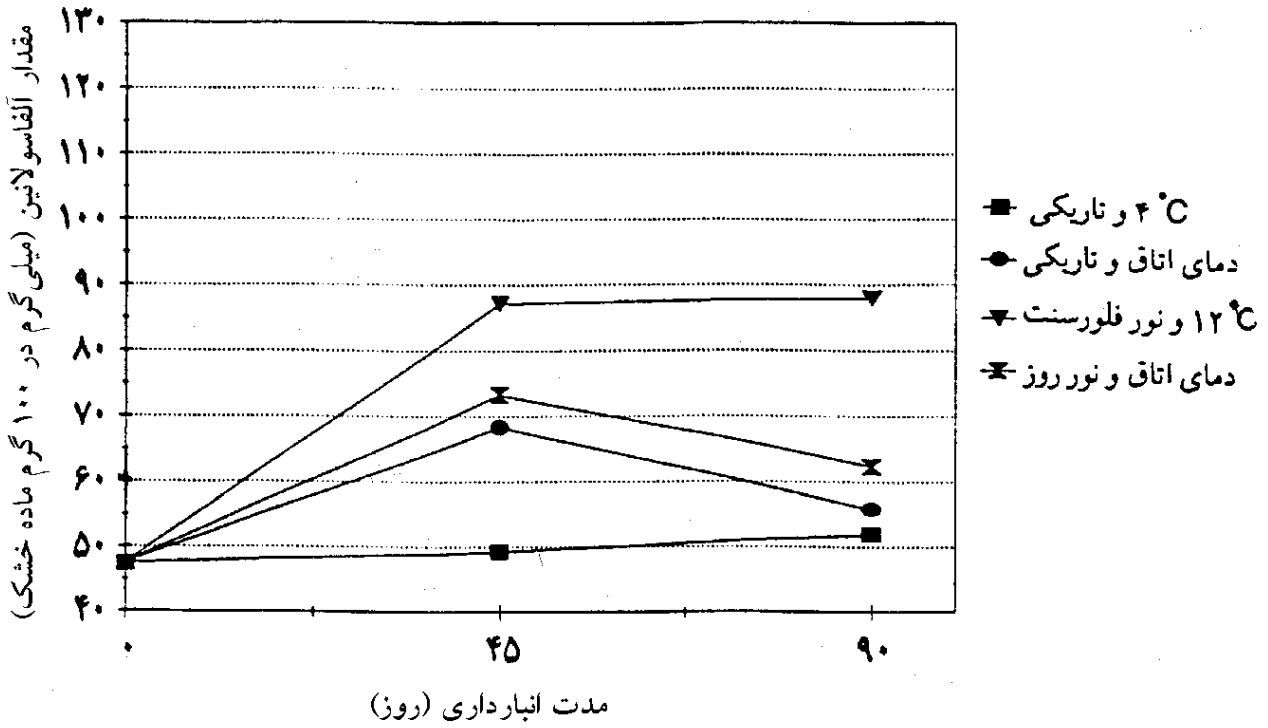
شکل ۱. کروماتوگرام‌های HPLC آلفاسولانین استاندارد و حلال متانل و آلفاسولانین موجود در نمونه‌های سیب‌زمینی رقم مارفونا پس از ٤۵ روز در ۱۲ درجه سانتی‌گراد و نور فلورسنت و رقم کوزیما پس از ٤۵ روز در دمای اتاق و نور روز

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.14.5]



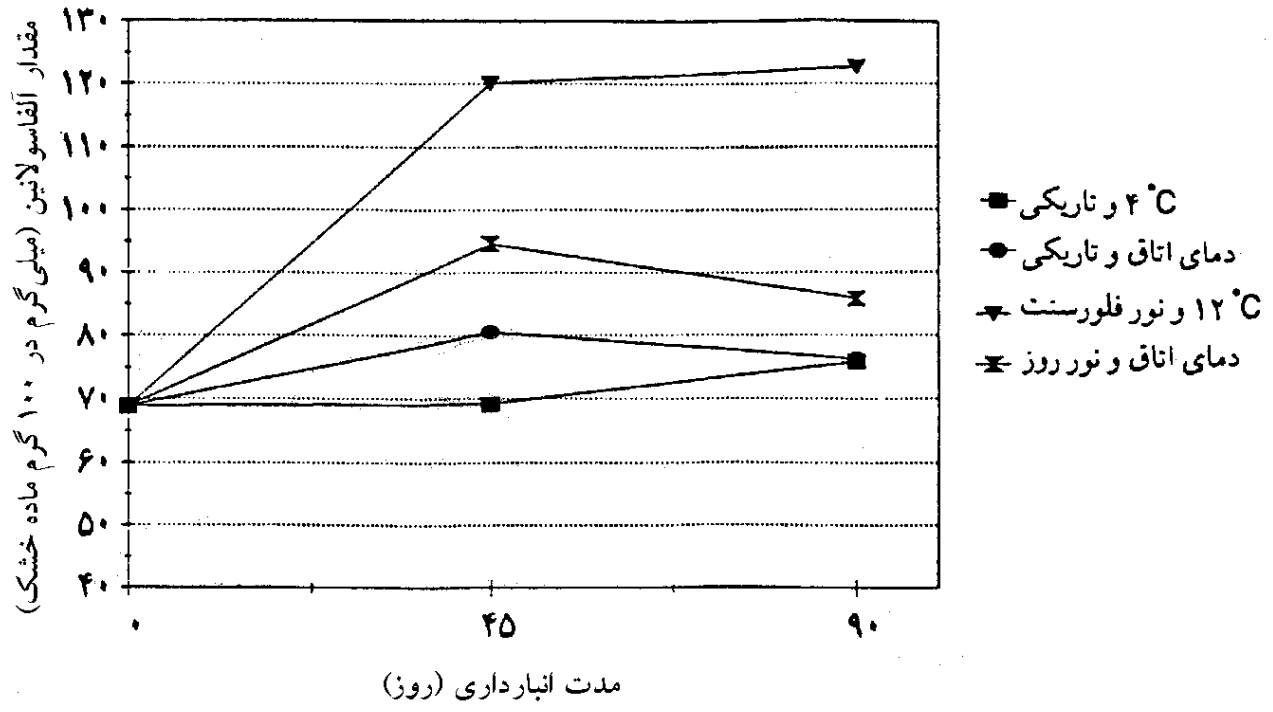
شکل ۲. تغییرات آلفاسولانین در رقم مارفونای بهاره طی ۳۰ روز انبارداری در شرایط مختلف



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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.14.5]



شکل ٤. تغییرات آلفاسولانین در رقم مارفونای پاییزه طی ۹۰ روز انبارداری در شرایط مختلف

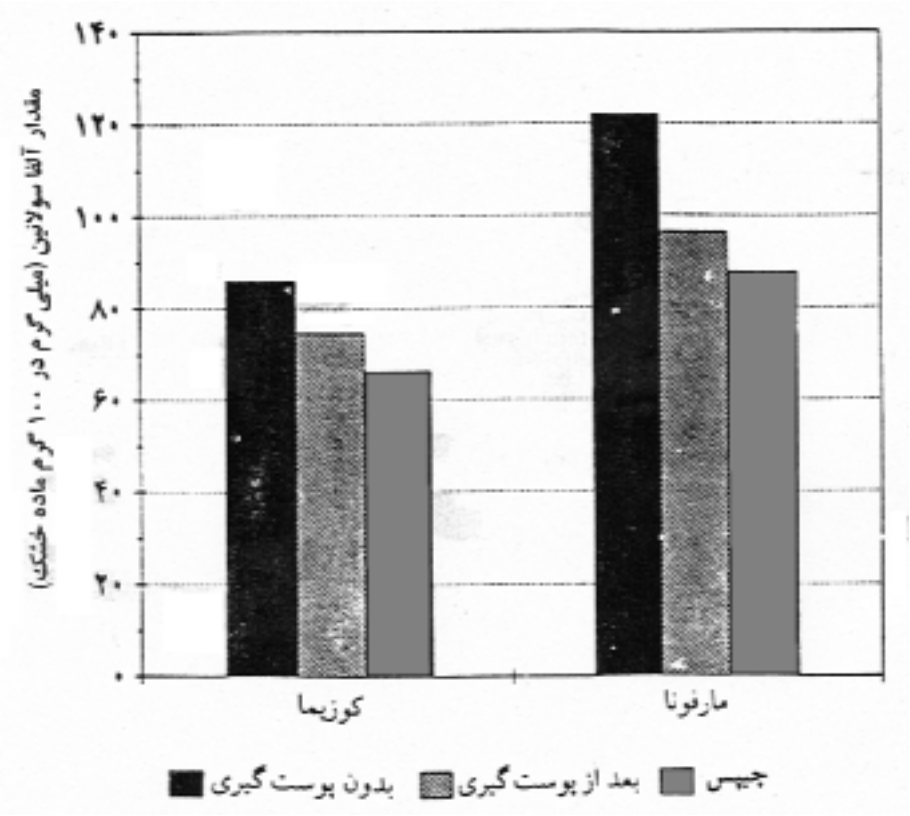
بیشترین میانگین مقدار سولانین نسبت به دو انبار دیگر می‌باشد. از نظر آماری، انبار با دمای اتاق و تاریکی حد واسط دو انبار با دمای اتاق و نور روز و انبار سرد چهار درجه سانتی‌گراد و تاریکی است. در این جا اثر نور، و پس از آن دما در افزایش میزان سولانین چشم‌گیر است. در مورد دو انبار با دمای اتاق، پس از ٤٥ 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 مقایسهٔ 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 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 اردیبهشت 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.

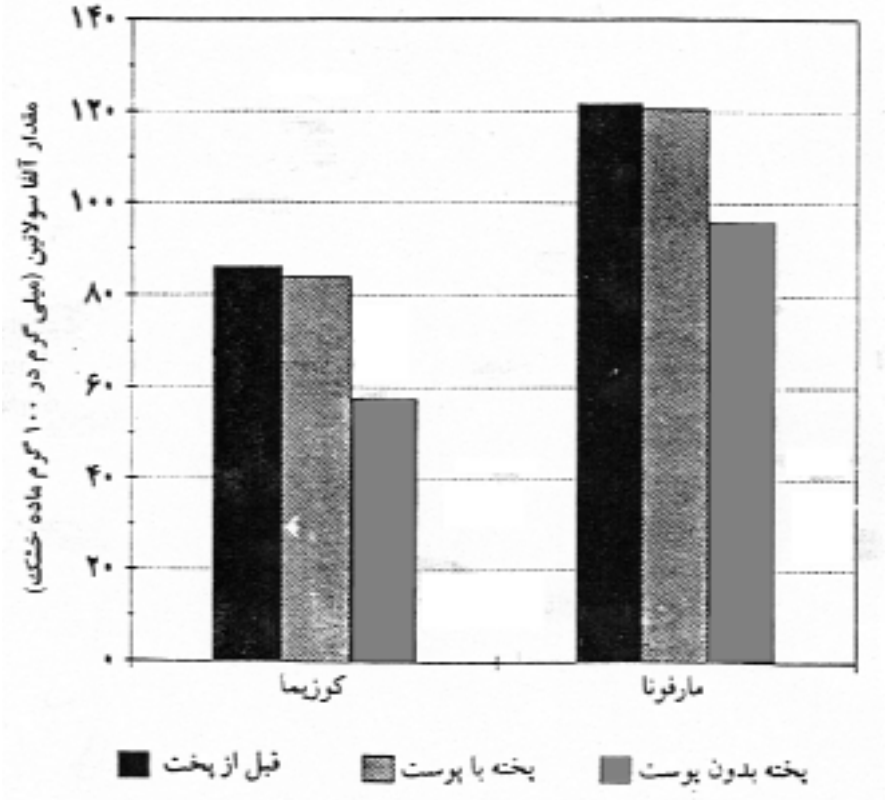
با توجه به شکل ٥، مراحل فرایند حرارتی بر میزان سولانین موجود در چیپس رقم کوزیمای پاییزه در سطوح ۱ و ٥ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند، ولی برای رقم مارفونای پاییزه بین مرحلهٔ پیش و پس از پوست‌گیری اختلاف معنی‌دار وجود دارد، به طوری که پس از پوست‌گیری مقدار سولانین کاهش پیدا کرده است. ولی فرایند حرارتی سرخ کردن در روغن در ۱٦۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤-٦ دقیقه در ارقام تفاوتی ایجاد نکرده است. این نتایج با گزارش سایزر و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.14.5]



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



شکل ٦. تغییرات آلفاسولانین در اثر فرایند حرارتی پخت از نمونه‌های مختلف سیب‌زمینی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.14.5]

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 ٤ درجه سانتی‌گراد و تاریکی	مدل	٥	٣٠١١/٦	٦٠٢/٣	١٠/٦٤***
	رقم	١	٢٨٤٧/١	٢٨٤٧/١	٥٠/٣١***
	زمان	٢	١٤٨/٨	٧٤/٤	١/٣١ns
	خطا	١٨	١٠١٨/٧	٥٦/٦	–
انبار ١٢ درجه سانتی‌گراد و نور فلورسنت	مدل	٥	١٦٩٣٨/٢	٣٣٨٦/٦	٢٧/٤٣***
	رقم	١	٥٢٨٦/٦	٥٢٨٦/٦	٤٢/٨١***
	زمان	٢	١١٤٤٦/٥	٥٧٢٣/٣	٤٦/٣***
	خطا	١٨	٢٢٢٢/٩	١٢٣/٥	–
انبار با دمای اتاق و تاریکی	مدل	٥	٣١٢٣/٦	٦٢٤/٧	١٧/٨٦***
	رقم	١	١٩٦٣/٩	١٩٦٣/٩	٥٦/١***
	زمان	٢	١٠٥٨/٢	٥٢٩/١	١٥/١***
	خطا	١٨	٦٢٩/٦٩	٣٥/٠	–
انبار با دمای اتاق و نور روز	مدل	٥	٥٦٣٩/٦	١١٢٧/٩	١٢/٠٥***
	رقم	١	٢٩٣٠/٥	٢٩٣٠/٥	٣١/٢٩***
	زمان	٢	٢٧٠٣/٤	١٣٥١/٧	١٤/٤٣***
	خطا	١٨	١٦٨٥/٦	٩٣/٦	–
مارفونای بهاره در طی ٣٠ روز انبارداری	مدل	١١	٤٩٥٩/٧	٤٥٠/٩	١١/٧٨***
	نوع انبار	٣	١٨١٠/٤	٦٠٣/٥	١٥/٧٧***
	زمان	٢	١٩٦١/٣	٩٨٠/٧	٢٥/٦٣***
	خطا	٣٦	١٣٧٧/٦	٣٨/٣	–
کوزیمای پاییزه در طی ٩٠ روز انبارداری	مدل	١١	١٠٣٩٣/٢	٩٤٤/٨	١٣/٨٩***
	نوع انبار	٣	٣٨٢٦/٩	١٢٧٥/٦	١٨/٧٦***
	زمان	٢	٤٢٨٦/٣	٢١٤٣/١	١٣/٥١***
	خطا	٣٦	٢٤٤٨/٢	٦٨/٠	–
مارفونای پاییزه در طی ٩٠ روز انبارداری	مدل	١١	١٦٦٩٥/٦	١٥١٧/٨	١٧/٥٨***
	نوع انبار	٣	٧٥٧٦/٩	٢٥٢٥/٦	٢٩/٣٦***
	زمان	٢	٥٠٦٤/٧	٢٥٢٣/٣	٢٩/٢١***
	خطا	٣٦	٣١٠٨/٥	٨٦/٤	–

*** : در سطوح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار است

ns : در سطوح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار نیست

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.14.5]

جدول ٤. اندازه‌گیری گلیکوآلکالویید کل برای ارقام پاییزه سیب‌زمینی در انبار ۱۲ درجه و نور فلورسنت

رقم	مقدار نمونه (گرم)	مقدار جذب خوانده شده	گلیکوآلکالویید (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک سیب‌زمینی)
کوزیما	۲۷/٤	۰/۳۲۵	۸٤/۷
مارفونا	۲۸/۰	۰/٤٦٥	۱۱۸/٦

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

شکل ٦ 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 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 گلیکوآلکالویید کل برای ارقام پاییزه در جدول ٤ آورده شده است. از آن جا که روش اندازه‌گیری گلیکوآلکالویید 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 گلیکوآلکالویید به دست آمده از این روش برابر با مقدار سولانین به دست آمده از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی زیاد می‌باشد.

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, 12th 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, α-solanine and α-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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.14.5]

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. α and β-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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.14.5]