نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

تشخیص سمّ سولانین موجود در غدد سیب‌زمینی با استفاده از روش پردازش بازتابندگی نور لیزر و دوربین دیجیتال

سعیده بابازاده[1*]، پرویز احمدی مقدّم[2]، آرش ثباتیان[3] و فاروق شریفیان[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳- دانشیار گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

* ایمیل مکاتبه کننده: S_90babazadeh@yahoo.com

چکیده

تمام اندام‌های گیاه سیب‌زمینی شامل دو گلیکوآلکالوئید آلفا سولانین و آلفا چاکونین بوده که تحت عنوان سمّ سولانین شناخته می‌شوند. مقدار مجاز سولانین ۰/۲ میلی‌گرم به ازای هر گرم از وزن سیب‌زمینی تازه است و افزایش آن باعث مسمومیّت و حتّی مرگ انسان و دام نیز می‌گردد. هدف از این تحقیق، بررسی توانایی روش‌های غیر مخرّب لیزر و دوربین دیجیتال در تشخیص سمّ سولانین سیب‌زمینی و مقایسه‌ی دقّت دو روش با یکدیگر می‌باشد. اساس کار در هر دو روش، آنالیز تصاویر تهیّه شده از سطح سیب‌زمینی توسط نرم‌افزار MATLAB R2011b می‌باشد، با این تفاوت که در روش استفاده از لیزر، نور لیزر با طول موج ٦٣٥ nm و اندازه‌ی پرتو ۲ mm بر نقاط مختلفی از سطح سیب‌زمینی تابانده شده و پس از تهیّه‌ی تصاویر، خاصیّت بازتابندگی پرتو لیزر اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داده است که دقّت روش لیزر نسبت به دوربین دیجیتال، بویژه در مواردی که مقدار سولانین در سطح سیب‌زمینی کاهش یافته، بالاتر بوده و ضریب تبیین روش لیزر در حدود ۹۲٪ گزارش شد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که زمان پردازش در روش لیزر کوتاه‌تر بوده و قابلیّت آنلاین کردن این روش برای طبقه‌بندی سیب‌زمینی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: سولانین، لیزر، پردازش تصویر، سیب‌زمینی

مقدّمه

سیب‌زمینی (Solanum tuberosum) از جمله غذاهای اصلی بسیاری از مردم جهان به شمار می‌آید که پس از گندم، ذرّت و برنج، در رده‌ی چهارم محصولات با ارزش دنیا قرار گرفته است و رتبه‌ی پنجم از لحاظ مصرف انسانی و رتبه‌ی ششم از لحاظ تولید در سراسر جهان را داراست (Lachman et al., 2013). این محصول در خطّ مقدّم مبارزه علیه فقر و گرسنگی است و چنان اهمیت دارد که ایالات متّحده، سال ۲۰۰۸ را به عنوان سال بین‌المللی سیب‌زمینی اعلان کرده‌اند و اظهار کردند که سیب‌زمینی، امنیّت غذایی را برای نسل امروز و فردا تضمین می‌کند (FAO, 2008). پنج کشور برتر تولیدکننده‌ی سیب‌زمینی در جهان عبارتند از؛ چین، هند، روسیه، اوکراین و آمریکا. کشور ایران نیز با تولید ٤ میلیون تن سیب‌زمینی در سال، در رتبه‌ی شانزدهم جهان قرار دارد (FAO, 2012).

غدّه‌ی سیب‌زمینی شامل دو سمّ آلفا سولانین و آلفا چاکونین می‌باشد؛ دو گلیکوآلکالوئیدی که بیش‌تر از ۹۵٪ از مقدار کل گلیکوآلکالوئیدهای (TGA[1]) موجود در گیاه سیب‌زمینی را در بر می‌گیرند و تحت عنوان «سولانین» بحث می‌شوند. گلیکوآلکالوئیدهای تلخ مزه و سمّی، با ظاهر شدن رنگ سبز در تمام اندام‌های گیاه سیب‌زمینی یافت می‌شوند و در بین بافت‌های گیاه سیب‌زمینی که شامل گلیکوآلکالوئید هستند، پوست و جوانه‌ها بالاترین غلظت گلیکوآلکالوئید را دارا می‌باشند (Machado et al., 2007). سولانین، حداکثر تا ۳ میلی‌متر در زیر پوست سیب‌زمینی تجمّع می‌یابد و مقدار مجاز آن، کمتر از ۰/۲ میلی‌گرم به ازای هر گرم از سیب‌زمینی تازه می‌باشد (FAO, 2008). افزایش مقدار سولانین از حالت مجاز برای انسان و دام خطرناک بوده و دارای علائمی از قبیل دردهای قولنجی در شکم و معده، بیماری‌های معده و روده، اسهال، استفراغ، تب، ضربان تند و اختلالات عصبی می‌باشد. سمّی بودن گلیکوآلکالوئیدها از فعالیت ضد کولین استرازی سیستم عصبی مرکزی و شکستن غشاء ناشی می‌شود که به طور ناسازگاری، سیستم گوارشی و متابولیسم عمومی بدن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بسیاری از محقّقین، انبارداری در تاریکی و دمای ٤ درجه‌ی سانتی‌گراد را به عنوان یک تیمار کنترلی در مطالعه‌ی تشکیل گلیکوآلکالوئیدها در نظر گرفتند، ولی نتایج کار آن‌ها، این روش را برای همه‌ی ارقام سیب‌زمینی توصیه نمی‌کند (Machado et al., 2007). فریدمن و مک‌دونالد (۱۹۹۹) استفاده از ارقام مقاوم‌تر در برابر سبز شدن و استفاده از اطلاعات و دانش موجود در نگهداری سیب‌زمینی‌ها را به منظور کاهش تشکیل سولانین، قبل و بعد از برداشت، تنها راه چاره دانسته‌اند.

به دلیل افزایش تولید محصولات کشاورزی، هدف اصلی از کمّیت به کیفیت تغییر یافته است (Choi et al., 2001). اگر چه مهم‌ترین پارامترهای کیفی یک محصول، شامل مقادیر مغذّی، اجزاء شیمیایی، خواص مکانیکی و آسیب‌ها می‌باشند، امّا انتخاب مصرف‌کنندگان عمدتاً بر مبنای شکل ظاهری می‌باشد. از طرفی ضایعات سیب‌زمینی در ایران ۱۰ درصد بوده (آمارنامه‌ی جهاد کشاورزی، ۱۳۸۸) و این ضرورت عمل طبقه‌بندی را بعد از برداشت نشان می‌دهد. دو موضوع مجزّا اما مرتبط به هم در رابطه با سیب‌زمینی‌های سبز رنگ وجود دارد؛ کیفیت ظاهری از نظر بازارپسندی و کیفیت درونی از لحاظ مصرف انسانی. به همین دلیل، توسعه‌ی ابزارآلات غیر مخرّب و سریع برای

[1] Total glycoalkaloid

کنترل کیفی محصولات کشاورزی، ضروری می‌باشد (Choi et al., 2001). TGA به چند طریق قابل اندازه‌گیری است که از آن جمله می‌توان به کروماتوگرافی گازی، کروماتوگرافی مایع با کارایی زیاد، اسپکتروفتومتری، آنزیم و ... اشاره کرد که جزء روش‌های مخرّب می‌باشند. در نتیجه در این تحقیق از روش‌های غیر مخرّب لیزر و پردازش تصویر که هر دو روش‌های ساده و ارزان قیمتی هستند استفاده خواهد شد. بابازاده و همکاران (۱۳۹۳) از تکنیک پردازش تصاویر دیجیتال برای طبقه‌بندی سیب‌زمینی‌ها براساس سمّ سولانین استفاده کردند و دقّت الگوریتم نوشته شده با نرم‌افزار MATLAB R2011b در تشخیص سیب‌زمینی‌های آلوده به سمّ سولانین، بیش از ۸۷٪ گزارش شد.

تاکنون تحقیقات فراوانی در رابطه با لیزر انجام گردیده و قدرت این تکنیک را در تعیین سفتی، ویسکو الاستیسیته، آسیب‌های درونی و ظاهری و ... نشان داده‌اند (Choi et al., 2001). ملّازاده و همکاران (۲۰۱۳) نیز خواص مکانیکی (سفتی و مدول الاستیسیته) را با خاصیت پس پراکنش نور لیزر برای سیب، آلو، گوجه‌فرنگی و قارچ در طول موج ٦٦۰ nm بدست آوردند.

اودوم‌کون و همکاران (۲۰۱٤) مقدار رطوبت، پژمردگی، رنگ (C^*)، شدّت روشنایی (L^*) و اشباع رنگ (h^*) را برای پاپایا با استفاده از خاصیت پس پراکنش نور لیزر در سه طول موج ۵۳۲، ٦۵۰ و ۷۸۰ نانومتر بدست آوردند. آن‌ها دو پارامتر سطح بازتاب و تابناکی را اندازه‌گیری کرده و بهترین نتیجه را در طول موج ٦۵۰ nm مشاهده کردند. در نتیجه، با استفاده از منبع نور لیزر، نور توانایی نفوذ به عمق بیش‌تری از محصول را دارد و هر گونه تغییر در بافت میوه منجر به تغییر در میزان باز پخش خواهد شد. لذا جذب به ترکیبات شیمیایی از جمله SSC، رطوبت، رنگدانه‌ها و ترکیبات رنگی مربوط است و خصوصیات پخشی فوتون‌ها در طول موج مرئی بستگی به مؤلفه‌های ساختار سلولی دارد. مزیّت روش لیزر نیز ساده بودن و اقتصادی بودن آن است و سیستم‌های لیزری به طور موفقیت‌آمیزی در کنترل عملیات پس از برداشت مخصوصاً ماشین‌های سورتینگ و درجه‌بندی به کار رفته‌اند. لذا هدف از این تحقیق، طبقه‌بندی سیب‌زمینی‌ها با استفاده از دو روش غیر مخرّب لیزر و پردازش تصویر بر مبنای وجود سمّ سولانین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ابتدا در حدود ۱۵۰ عدد سیب‌زمینی تازه از بازار محلّی استان اردبیل خریداری گردید. سپس نمونه‌ها شسته شده و در دمای زیر زمین خنک و تاریک خشک شدند. آزمایش‌های مربوط به دوربین دیجیتال و لیزر همزمان با هم برای هر نمونه انجام شدند تا بین آزمایش‌های مربوط به یک نمونه فاصله‌ای نباشد و سمّ سولانین گسترش نیابد. تصاویر مربوط به دوربین دیجیتال با دوربین CCD دیجیتال مدل Sony Cyber-Shot DSC-W200 و رزولوشن ۲۰٤۸*۱۵۳۸ پیکسل، در فضای رنگی RGB با فرمت فشرده‌سازی JPEG در داخل محفظه‌ی نورپردازی ساخته شده در گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه که دارای چهار عدد لامپ هالوژن بوده و شدّت نور قابل تنظیم است، تهیّه گردید. برای تهیّه‌ی تصاویر مربوط به لیزر نیز از دوربین CMOS دیجیتال مدل Sony Cyber-Shot DSC-HX9V

و رزولوشن ۲۵۹۲*٤٦۰۸ پیکسل، در فضای رنگی RGB و فرمت فشرده‌سازی JPEG استفاده گردید. این دوربین نیز با توجّه به شرایط محیطی، در حالت تنظیمات دستی قرار داده شد و برای تهیّه‌ی تصاویر در این حالت، دوربین روی سه پایه‌ی خود قرار گرفت.

سپس مجموعه‌ی تست که شامل لیزر رنگ قرمز پلاریزه با طول موج ٦۳۵ nm، دو عدد فیلتر ٦۲ mm (جهت کاهش شدّت نور)، باریکه شکن[۲] مکعبی (به منظور راحتی تهیّه‌ی تصاویر) و پایه‌ی نگهدارنده‌ی سیب‌زمینی بود، چیده شد (شکل ۱). باریکه شکن روی پایه‌ای تعبیه شده و فاصله‌ی لنزهای دوربین دیجیتال از آن بین ۱۰-۷ cm تنظیم گردید. در طول آزمون، نور بطور عمود بر سطح سیب‌زمینی با اندازه‌ی پرتو ۲ mm، به دلیل ناصاف بودن سطح سیب‌زمینی در مقایسه با دیگر محصولات کشاورزی، می‌تابد. دلیل استفاده از باریکه شکن، هدایت نور بازتابی از سطح سیب زمینی به دوربین است.

سپس نور لیزر را به قسمت‌های مختلفی از سیب‌زمینی تابانده و چندین تصویر گرفته می‌شود و از قسمت‌هایی که نور لیزر به آن محل تابیده شده، در محفظه‌ی نورپردازی نیز عکس گرفته می‌شود تا نتایج دو روش را بتوان نسبت به هم مقایسه نمود. سیب‌زمینی‌های تست شده، هر روز بعد از اتمام آزمایشات در محلی تاریک و خنک نگهداری می‌شوند تا گسترش سمّ سولانین در آن‌ها ناچیز باشد و بتوان تست پنل را بلافاصله بعد از اتمام آزمایشات غیر مخرّب انجام داد.

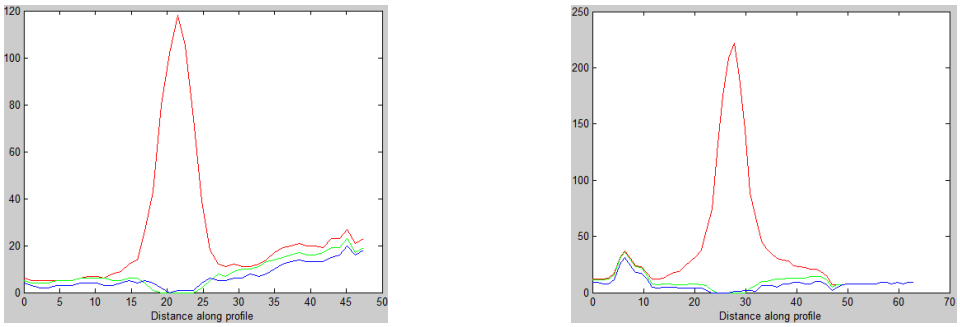
شکل ۱. مجموعه تست مربوط به روش لیزر

پس از اتمام آزمایشات غیر مخرّب، تست پنل بینایی توسط یک گروه متخصّص که آموزش‌هایی قبل از آزمون پنل به آن‌ها داده شده تا در این مورد، خبره شوند و بتوانند با چشم خود، سیب‌زمینی‌های سمّی را از سیب‌زمینی‌های سالم تفکیک و جدا کنند، انجام گرفت. پس از گرفتن تصاویر، توسط جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار MATLAB R2011b، تصاویر را پردازش نموده و سیب‌زمینی‌های سمّی تشخیص داده شدند. در روش استفاده از دوربین دیجیتال، رابطه‌ی استخراج EXG (رابطه‌ی ۱)، که بیش‌تر در جداسازی پیکسل‌های گیاهی از پیکسل‌های سطح خاک از آن استفاده می‌شود (با توجه به اختلاف رنگ سبز گیاه و خاک)، برای جدا نمودن سیب‌زمینی‌های دارای سولانین بالا از سیب‌زمینی‌های سالم مورد استفاده قرار گرفت. سپس با استفاده از آستانه‌گیری، پیکسل‌هایی که مقدارشان کمتر از مقدار آستانه بود، صفر شده و سایر پیکسل‌ها بدون تغییر باقی ماندند.

[۲] Beam splitter

$$EXG = 1.7 * G - R - B \quad (۱)$$

لازم به ذکر است که در تصاویر گرفته شده در روش لیزر، مقدار ماکزیمم شدّت نور در قلّه‌ی نمودار هیستوگرام مربوط به لکّه‌ی نور لیزر، ملاک تصمیم‌گیری برای تفکیک سیب‌زمینی‌های سالم و سمّی از یکدیگر بوده است و همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود مقادیر ماکزیمم شدّت نور در سیب‌زمینی‌های سالم و سمی در حدود ۱۰۰ واحد با یکدیگر اختلاف دارند. علّت این امر آن است که چون سولانین با ظاهر شدن رنگ سبز در سیب‌زمینی یافت می‌شود لذا میزان جذب نور قرمز لیزر توسط رنگ سبز نسبت به رنگ قهوه‌ای روشن بیش‌تر بوده و خاصیت بازتابش کمتر است.



(ب) (الف)

شکل ۲. نمودارهای هیستوگرام نور لیزر تابیده شده به سطوح سیب‌زمینی: الف) سالم، ب) آلوده به سمّ سولانین.

نتایج و بحث

نتایج بررسی تصاویر نشان داد که الگوریتم‌های طرّاحی شده قادرند با دقّت مناسبی سیب‌زمینی‌های آلوده به سولانین را از سیب‌زمینی‌های سالم تشخیص دهند (شکل ۳). نتایج حاصل از آزمایشات در **Error! Reference source not found.** تنظیم گردیده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد دقّت روش لیزر نسبت به دوربین دیجیتال تا حدودی بالا بوده و توانایی روش لیزر را در سورت کردن سیب‌زمینی‌ها نشان می‌دهد. چون روش لیزر قادر به تشخیص سیب‌زمینی‌هایی که سولانین از سطح به عمق نفوذ کرده بود می‌باشد ولی روش دوربین دیجیتال فقط قادر به پردازش سطح سیب‌زمینی براساس مؤلّفه‌های رنگی است.

(ب) (الف)

شکل ۳. تشخیص سیب‌زمینی آلوده به سمّ سولانین در روش دوربین دیجیتال. الف) تصویر اصلی، ب) تصویر پردازش شده.

همانگونه که از جدول ۱ مشاهده می‌شود مقدار خطا در تشخیص سیب‌زمینی‌های سالم بیش‌تر از سیب‌زمینی‌های سمّی در هر دو روش می‌باشد. دلیل آن نیز وجود خاک و جراحت‌های سطحی می‌باشد که بخصوص در روش لیزر، میزان بازتابش سطحی به دلیل رنگ تیره‌ی آن نسبت به سطوح دیگر سیب‌زمینی کاهش یافته و میزان جذب بیش‌تر است. در تشخیص سیب‌زمینی‌های سالم در روش دوربین دیجیتال، الگوریتم دچار اشتباه بیشتری نسبت به روش لیزر گردیده است. در اکثر موارد، صدمات موجود بر روی سیب‌زمینی به صورت نقطه‌ای نبوده و در گستره‌ای از سطح سیب‌زمینی رخ می‌دهند. به همین منظور، گاهی این نواحی در آستانه‌گیری در نظر گرفته نمی‌شوند و نتواند سیب‌زمینی‌های ناسالم و سالم را با دقّت مناسب دسته‌بندی نماید. تابش نقطه‌ای نور در لامپ‌های هالوژن موجود در محفظه‌ی عکس‌برداری نیز باعث می‌شود نویزهایی در استخراج سیب‌زمینی از پس‌زمینه به وجود آید که به دلیل مقدار کم نویزها، تأثیر زیادی بر روی دقّت الگوریتمِ نوشته شده و مقدار خطا در تشخیص سیب‌زمینی‌های سالم و ناسالم از یکدیگر نداشت. بدیهی است در تابش غیرمستقیم، خطای موجود نیز کاهش خواهد یافت.

جدول ۱. مقدار خطا در طبقه‌بندی سیب‌زمینی‌ها در دو روش لیزر و دوربین دیجیتال

	روش لیزر		روش دوربین دیجیتال	
	سیب‌زمینی‌های سالم	سیب‌زمینی‌های سمّی	سیب‌زمینی‌های سالم	سیب‌زمینی‌های سمّی
درصد خطا	۱۰/۵	٤/۳٦	۱۷/۱٤	۸/۵۷
درصد خطای کل	۷/٤۳		۱۲/۸۵	

نتیجه‌گیری

با توجه به درصد بالای سیب‌زمینی‌های آلوده به سولانین، ضرورت جداسازی سیب‌زمینی‌های آلوده به سولانین، قبل از ارائه به بازار مصرف بیش‌تر نمایان می‌شود و به دلیل بالا بودن دقّت روش لیزر (بیش از ۹۲٪) و قابلیّت آنلاین کردن این روش، کاربرد این روش توصیه می‌گردد. از طرفی زمان پردازش در روش لیزر کوتاه‌تر بوده و کاربرد گسترده‌ی این علم را در ماشینهای سورتینگ نشان می‌دهد. سیب‌زمینی‌های تجاری معمولاً برای مصرف انسان ایمن بوده و سولانین موجود در سیب‌زمینی تحت تأثیر فرآیندهای حرارتی از جمله پختن در مایکروویو، جوشاندن و سرخ کردن قرار نمی‌گیرد. در نتیجه انگیزه‌ای برای کاهش ترکیب سولانین در سیب‌زمینی از طریق پیشرفت‌هایی در مدیریّت مکانیکی و به ویژه کاهش قرارگیری در معرض نور وجود دارد.

تشکّر و قدردانی

وظیفه‌ی خود می‌دانیم از همکاری آقای دکتر کاوه ملّازاده، عضو هیئت علمی گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه کردستان، که در به ثمر رساندن این تحقیق ما را یاری نمودند صمیمانه تشکّر و قدردانی نماییم.

منابع و مآخذ

۱. بابازاده، س. مقدّم، پ.ا. و ایمانی، آ. ۱۳۹۳. تشخیص صدمات مکانیکی و سمّ سولانین سیب‌زمینی با استفاده از تکنیک پردازش تصاویر دیجیتال. مجموعه مقالات هفتمین همایش ملّی یافته‌های پژوهشی کشاورزی. سنندج. ایران. ص ۱۳۱۵-۱۳۱۱.

۲. بی نام. ۱۳۸۸. آمارنامه‌ی کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی.

3. Choi, K.H. Lee, K.J. & Kim, G. 2001. Nondestructive quality evaluation technology for fruits and vegetables using near-infrared spectroscopy. National institute of agricultural engineering. Rural development administration. 249 Seodun-dong. Suwon. Republic of KOREA.
4. FAO. 2012. Internathional year of the potato. New light on a hidden treasure. Rome.
5. FAOSTAT. 2012. http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx.
6. Friedman, M. & McDonald, G.M. 1999. Postharvest changes in glycoalkaloid content of potatoes. Western Regional Research Center. 121-143.
7. Lachman, J. Hamouz, K. Musilová, J. Hejtmánková, K. Kotíková, Z. Pazderů, K. Domkářová, J. Pivec, V. & Cimr, J. 2013. Effect of peeling and three cooking methods on the content of selected phytochemicals in potato tubers with various colour of flesh. J. Food Chemistry. Vol. 138, 1189-1197.
8. Machado, R.M.D. Toledo, M.C.F. & Garcia, L.C. 2007. Effect of light and temperature on the formation of glycoalkaloids in potato tubers. J. Food Control. Vol. 18, 503-508.
9. Mollazade, K. Omid, M. Tab, F.A. Kalaj, Y.R. Mohtasebi, S.S. & Zude, M. 2013. Analysis of texture-based features for predicting mechanical properties of horticultural products by laser light backscattering imaging. J. Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 98, 34-45.
10. Udomkun, P. Nagle, M. Mahayothee, B. & Müller, J. 2014. Laser-based imaging system for non-invasive monitoring of quality changes of papaya during drying. J. Food Control. Vol. 42, 225-233.

11.

Diagnosis of solanine toxicant in potato tubers using laser reflectance processing and digital camera methods

Abstract

All organs of potato plants include two glycoalkaloids, alpha-solanine and alpha-chaconine, often called "solanine". The recommended level of solanine is about 0.2 mg/g (fresh weight) of potato and its growth from the recommended level causes human beings and livestocks poisoning and might lead to their death. The purpose of this study is to check the ability of nondestructive ways like laser and digital camera in recognition of solanine toxicant in potato and comparing accuracy of two methods with each other. The basis of two methods is the analysis of pictures by MATLAB R2011b, taken from potato's surfaces, but in laser application, laser beam at 635 nm and beam size of 2 mm has been projected to different parts of potato's surfaces and after taking the pictures, laser reflectance feature has been measured. Results showed that the accuracy of laser method than digital camera, especially in situations that solanine content has been decreased at the surface of potato tubers, is higher and laser's coefficient of determination was reported about 92%. Although, it was showed that processing time in laser method is shorter and it was used in sorting systems for grading potatoes based on these natural toxicants.

Key Words: Solanine, Laser, Image processing, Potato.