



تشخیص آلودگی قارچی در مغز پسته بر اساس پردازش تصاویر فراتطیفی

کامران خیرعلی پور^{۱*}، حجت احمدی، علی رجبی پور^۲، شاهین رفیعی^۲، محمد جوان نیکخواه^۲، دیگوبر جایاس^۳

kamrankheiralipour@gmail.com

- ۱- استادیار گروه مهندسی بیو سیستم، دانشگاه ایلام.
 ۲- دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
 ۳- دانشگاه مانی توبا

چکیده

بازرسی ایمنی و تشخیص بیماری در محصولات کشاورزی یکی از مراحل مهم و حساس در عملیات پس از برداشت می‌باشد. در این راستا، فناوری تصویربرداری فراتطیفی یکی از روش‌های توانمند می‌باشد که اخیراً مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این تحقیق از این روش برای طبقه‌بندی مغز پسته سالم و آلوده به قارچ اسپریلوس فلاووس، جدایه KK11، استفاده شد. سامانه تصویربرداری شامل یک دوربین، یک لنز ۲۵ میلی‌متری، دو فیلتر طول موج متغیر، منبع نوری، رایانه، کارت تصویرگیر و نرم‌افزار اکتساب ابرمکعب بود. هشت طبقه مختلف شامل پسته سالم و پسته آلوده در هفت مرحله از رشد قارچ، یعنی آلودگی یک روزه تا هفت روزه، مورد تحقیق قرار گرفت. برای هر طبقه حدود ۴۸ نمونه در نظر گرفته شد. هر فرامکعب شامل ۷۵ لایه تصویر، از ۹۶۰ تا ۱۷۰۰ nm با فواصل ۱۰ nm، بود. پس از پیش‌پردازش تصاویر در نرم‌افزار متلب، از روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای به دست آوردن طول موج‌های موثر جهت طبقه‌بندی طبقه‌های مختلف پسته استفاده شد که سه طول موج یعنی، ۱۰۹۰، ۱۲۸۰ و ۱۷۰۰ nm انتخاب گردیدند. پس از استخراج ویژگی‌های مختلف در سه طول موج انتخابی، داده‌های بدست آمده با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و اعتبارسنجی K-بخشی (KFCV) طبقه‌بندی گردیدند که دقت آن‌ها در تشخیص پسته سالم و پسته آلوده بدون در نظر گرفتن مرحله آلودگی به ترتیب ۹۶/۸۰ و ۹۸/۵۵٪ بود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی قارچی، اسپریلوس فلاووس، پردازش تصویر؛ فناوری تصویربرداری فراتطیفی؛ مغز پسته.

۱- مقدمه

پسته (*Pistacia vera*) یکی از مهم‌ترین و معروف‌ترین خشکبارها در کشور به خاطر میزان بالای سطح زیرکشت، میزان تولید و صادرات بالا، خواص مهم و نقش اجتماعی و زیست محلی پراهمیت آن می‌باشد (باغبانی علمی، ۱۳۹۱؛ کانون انجمن‌های صنفی صنایع غذایی ایران، ۱۳۸۸؛ خواص پسته، ۱۳۹۱؛ Zizuan, 2011). یکی از مشکلات پسته وجود سم مضر آفلاتوکسین می‌باشد (Bahar and Altuğ, 2012) که منشأ آن قارچ‌های جنس اسپریلوس از جمله اسپریلوس فلاووس می‌باشد (Sommer et al., 1986).



روش‌های متداول تشخیص قارچ به صورت آزمایشگاهی می‌باشد (حیدریان ۱۳۸۳) که دقیق اما هزینه‌بر و وقت‌گیر هستند. لذا اخیراً تلاش‌هایی جهت توسعه روش‌های نوین برای تشخیص قارچ در محصولات مختلف انجام شده است. آلودگی‌های قارچی با استفاده از فناوری‌های کروماتوگرافی گازی، طیف‌سنجی جرمی و تحلیل حسگری و بینی الکترونیکی در مورد غلات تشخیص داده شده است. بیشتر این روش‌ها نتایج قابل اعتمادی را ارائه می‌دهند، اما زمان زیادی را برای آماده‌سازی نمونه و آزمایش آن نیاز دارند (Chelladura *et al.*, 2010). از جمله روش‌های تصویربرداری، پرتو ایکس نرم برای تشخیص قارچ در گندم (Narvankar *et al.*, 2009) و گرمانگاری برای تشخیص قارچ در گندم (Chelladurai *et al.*, 2010) و پسته (خیرعلی‌پور ۱۳۹۱) استفاده شده است.

یکی از روش‌های نوین در بازرسی کیفی محصولات کشاورزی روش تصویربرداری فراطیفی فروسرخ می‌باشد. در تصویربرداری چندطیفی، اطلاعات یک توزیع مکانی ($m \times n$) مورد نظر می‌باشد که کاربرد آن به چند طول موج محدود می‌باشد. به عنوان مثال، تنها سه مجموعه طول موج، قرمز، سبز و آبی در تصاویر RGB ثبت می‌شود. اما در تصویربرداری فراطیفی اطلاعات مکانی در ده‌ها طول موج، (ناحیه فروسرخ نزدیک که به دو منطقه طول موج بلند و طول موج کوتاه تقسیم می‌شود) به طور پیوسته در ناحیه فروسرخ دریافت و ثبت می‌شود. تصاویر فراطیفی نیز همانند تصاویر چندطیفی با سه مشخصه توصیف می‌شوند که دو مشخصه اول ابعاد مکانی و بعد سوم مربوط به طول موج‌های دریافت شده می‌باشد. داده‌های مربوط به تصاویر سه بعدی فراطیفی، فرامکعب نامیده می‌شوند. روش‌های تحلیلی همراه با پردازش تصویر به منظور کاهش ابعاد فرامکعب‌ها، انتخاب طول موج‌های مفید، استخراج ویژگی‌ها، و توسعه مدل‌های واسنجی و طبقه‌بندی استفاده می‌شود (Singh, 2009). از روش‌های تصویربرداری فراطیفی فروسرخ نزدیک و پرتو ایکس نرم برای تشخیص قارچ‌های گروه آسپرژیلوس گلوکز^۱ و آسپرژیلوس نیجر وان تیگم^۲ و پنسیلیوم^۳ در گندم به ترتیب توسط Singh *et al.*, 2007 و Narvankar *et al.*, 2009 استفاده شده است. همچنین تصاویر فراطیفی جهت تشخیص آلودگی قارچی پنسیلیوم دیجیتاتیوم^۴ در مرکبات توسط Gomez-Sanchis *et al.*, 2008 طبقه‌بندی شده‌اند.

هدف این مقاله استفاده از روش تصویربرداری فراطیفی فروسرخ طول موج بلند و طبقه‌بندی تصاویر اکتساب شده به دو روش شبکه عصبی مصنوعی و اعتبارسنجی K-بخشی جهت تشخیص قارچ آسپرژیلوس فلاوس، منشاء سم آفلاتوکسین، می‌باشد. همچنین در این تحقیق مراحل مختلف رشد قارچ از یک روزه تا هفت روزه مورد نظر می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

1. *Aspergillus glaucus*
2. *Aspergillus niger* van Tieghem
3. *Penicillium* spp.
4. *Penicillium digitatum* fungi



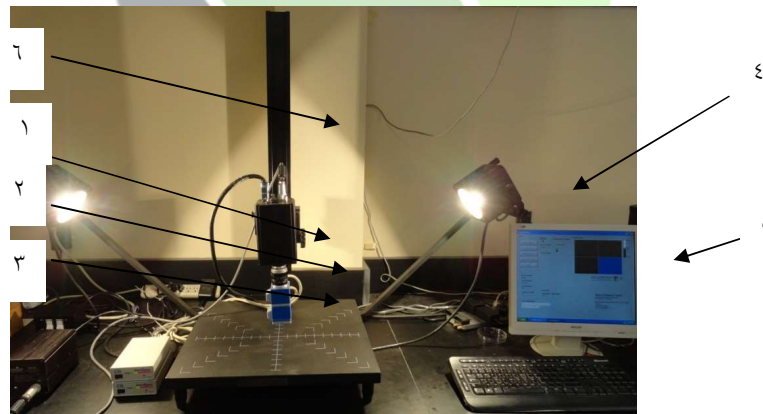
این تحقیق در گروه مهندسی بیوسیستمز، دانشگاه منی‌توبا، وینیپگ، منی‌توبا، کانادا، انجام شد که مراحل آن در بخش‌های زیر تشریح شده است.

۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها

در این تحقیق تشخیص آلودگی قارچی مغز پسته رقم اکبری مورد نظر قرار گرفت. پسته منطقه رفسنجان، کرمان، ابتدا به صورت دستی مغز شده و سپس قارچ زدایی گردیدند. تعدادی از آن‌ها به عنوان پسته سالم و بقیه توسط قارچ اسپرژیلوس فلاووس جدایه KK11 آلوده شدند. در مجموع یک طبقه پسته سالم و هفت طبقه پسته آلوده، آلودگی یک تا هفت روزه، و ۴۸ نمونه برای هر طبقه در نظر گرفته شد.

۲-۲- سامانه تصویربرداری فراطیفی

در این تحقیق از سامانه تصویربرداری فراطیفی فروسرخ طول موج بلند (LWNIR) استفاده شد (شکل ۳-۲۰). این سامانه شامل یک دوربین InGaAs خنک شونده الکتریکی (مدل: SU640-1.7RT-D، شرکت آنلیمیتد سنسورز، پرینستون، نیوجرسی، یو.اس.ای^۱) با اندازه آشکارساز ۶۴۰×۴۸۰ پیکسل و ۲۷ mm (شماره ۱)، یک لنز ۲۵ میلی‌متری (F1.4 C-mount) (شرکت الکتروفیزیکز، فیرفیلد، نیوجرسی، یو.اس.ای^۲) (شماره ۲)، دو فیلتر طول موج متغیر LCTF (مدل MIR06، شرکت ریسرچ اند اینسترومنتیشن کمبریج، وبرن، ام.ای، یو.اس.ای^۳) با گستره قابل تنظیم ۹۰۰ تا ۱۷۰۰ nm (شماره ۳) و یک منبع نوری شامل دو لامپ هالوژن تنگستن (شرکت لایتینگ یوشیو، سیپرس، سی.ای.یو.اس.ای^۴) با توان ۳۰۰ W بود (شماره ۴).



شکل ۱. سامانه تصویربرداری فراطیفی فروسرخ طول موج بلند.

1. Model no. SU640-1.7RT-D, Sensors Unlimited Inc., Princeton, NJ, USA
2. Electrophysics Corp., Fairfield, NJ, USA
3. MIR06, Cambridge Research and Instrumentation Inc., Woburn, MA, USA
4. Ushio Lighting Inc., Cypress, CA, USA



در این سامانه از یک رایانه اپتیکس دل (GX280 Intel(R) شرکت دل، روند راک، تی.اکس، یو.اس.ای^۱) استفاده شد (شماره ۵). از یک قاب اکتساب داده رقمی (مدل ان.آی.پی.سی.آی-۱۴۲۲، شرکت نشنال اینسترومنتیشن، آستین، تگزاس، یو.اس.ای^۲) سازگار با علامت‌های RS-422 تولید شده توسط دوربین، برای اتصال دوربین و رایانه استفاده شد. حداقل تفکیک-پذیری این سامانه ۰/۱ nm بود.

بخش نرم‌افزاری سامانه جهت اکتساب فرامکب‌ها و ذخیره‌سازی آن‌ها در محیط لب‌ویو (نسخه یک، شرکت نشنال اینسترومنتیشن، آستین، تگزاس، یو.اس.ای^۳) توسعه یافته بود. این برنامه تنظیمات سامانه تصویربرداری فراطیفی، گستره طول موج و تعداد طول موج‌های مورد نظر برای اکتساب را در یک فایل ذخیره می‌نماید (Singh, 2009).

۳-۳-۳- اکتساب تصاویر فراطیفی

در این تحقیق برنامه اکتساب تصویر برای گستره ۹۶۰ تا ۱۷۰۰ nm و فاصله بین لایه‌های تصویر برابر ۱۰ nm (تصویر ۷۵ لایه‌ای) تنظیم شد. در هر مرحله از اکتساب تصویر ابتدا تصویر مقوای مشکی به عنوان پیش‌زمینه ثبت شده و نرم‌افزار سامانه به طور خودکار تصویر پیش‌زمینه مشکی را از هر تصویر فراطیفی کم نمود. پس از آن، تصویر فراطیفی صفحه سفید استاندارد اسپکترون^۴ با میزان انعکاس ۹۹٪ (شرکت لبسفر، نورت ساتون، ان.ایچ، یو.اس.ای^۵) قبل و بعد از ثبت فرامکب‌های پسته در هر مرحله ثبت شد.

۳-۲- تحلیل تصاویر فراطیفی

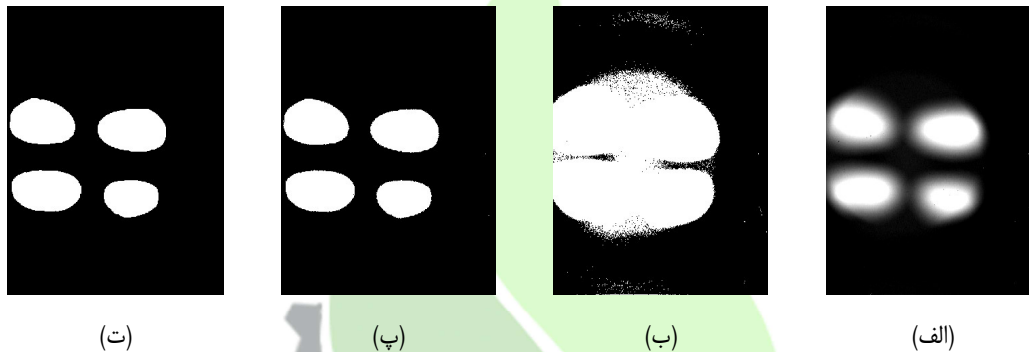
در این تحقیق سه برنامه در نرم‌افزار متلب ۲۰۰۶ توسعه یافت. اولین برنامه برای خواندن دو تصویر فراطیفی صفحه‌های سفید (قبل از شروع و پس از پایان هر مرحله تصویربرداری) و به دست آوردن میانگین شدت پیکسل آن‌ها و سپس ذخیره نتایج حاصل شده در تمام طول موج‌های مورد نظر توسعه یافت. چرا که برای دستیابی به میزان انعکاس انواع مختلف پسته باید ابتدا میانگین تصاویر سفید از تمام تصاویر فراطیفی نمونه‌های پسته کم شود.

در برنامه دوم ابتدا فایل مربوط به میانگین تصاویر سفید، و سپس به طور خودکار تمام تصاویر فراطیفی هر نوع پسته در فایل مربوطه خوانده شد. در این برنامه لایه اول هر تصویر (در طول موج ۹۶۰ nm) مورد نظر قرار گرفت. برای نمونه، یک تصویر از پسته سالم در طول موج ۹۶۰ nm در شکل ۱-الف نشان داده شده است. سپس این تصویر به تصویر شدت خاکستری تبدیل شد (شکل ۱-ب). بعد از آن، با استفاده از آستانه ۵۰٪ تصاویر شدت خاکستری به تصاویر سیاه و سفید تبدیل (شکل ۱-پ) و سپس نقاط اضافی موجود در آن حذف شدند (شکل ۱-ت). سپس نمونه‌های پسته در هر تصویر شماره‌گذاری شده و به رنگ‌های مختلف

1. Dell Optiplex GX280 Intel(R)
2. Dell Inc., Round Rock, TX, USA
3. NI PCI-1422, National Instruments Corp., Austin, TX, USA
4. LabVIEW, Version 1, National Instruments, Austin, TX, USA
5. standard Spectralon reflectance panel
6. Labsphere Inc., North Sutton, NH, USA



نمایش داده شدند. در ادامه، هر فرامکعب بر میانگین شدت پیکسل صفحه‌های سفید مربوطه تقسیم شده و سپس میانگین شدت پیکسل‌های هر نمونه پسته در تمام طول موج‌های مورد نظر استخراج گردید. روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای به دست آوردن مولفه‌های اصلی (یا عامل‌های بارگذاری) اول و دوم استفاده شد. و در نهایت این برنامه مولفه‌های اصلی را در فایل اکسل ذخیره نمود. با استفاده از این مولفه‌های اصلی طول موج‌ها برای استخراج ویژگی تصاویر فراطیفی نمونه‌های پسته انتخاب شدند. برنامه سوم مشابه برنامه دوم بوده با این تفاوت که در این جا از روش تحلیل مولفه‌های اصلی استفاده نشده، اما ویژگی‌های مانند حداکثر، حداقل، میانگین، میانه، واریانس و انحراف استاندارد فقط در طول موج‌های انتخابی استخراج شدند. در نهایت، این برنامه ویژگی‌های استخراج شده تمام نمونه‌های پسته را در فایل‌های اکسل (هر فایل مربوط به یک نوع پسته) ذخیره نمود.



شکل ۱. پردازش تصاویر فراطیفی پسته. الف) تصویر فراطیفی پسته سالم در طول موج ۹۶۰ nm. ب) تصویر شدت

خاکستری. پ) تصویر سیاه و سفید. ت) حذف نقاط اضافی در تصویر سیاه و سفید.

در پایان، ویژگی‌های استخراج شده با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و روش اعتبارسنجی K-بخشی و مورد طبقه‌بندی قرار گرفتند. در روش شبکه عصبی مصنوعی از آموزش لوئرگ-مارکوات استفاده گردید. زیرا این روش آموزش سریع‌تر و دقیق‌تر از الگوریتم پس‌انتشار استاندارد می‌باشد و همچنین داده‌های ورودی کمتری برای آموزش نیاز دارد. از آن جا که روش اعتبارسنجی ۱۰-بخشی معروف بوده و توسط محققان زیادی مورد استفاده قرار گرفته (مک‌لاچلان و همکاران، ۲۰۰۴)، لذا در این رساله نیز ۱۰ مرحله برای آموزش و آزمون شبکه در نظر گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

تصاویر فراطیفی مربوط به نمونه‌های پسته سالم و آلوده به قارچ در مراحل مختلف آلودگی با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی اعتبارسنجی K-بخشی طبقه‌بندی گردیدند. شبکه‌های مختلفی در روش شبکه عصبی مصنوعی طراحی و ارزیابی گردیدند که در نهایت شبکه شامل یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی به عنوان شبکه بهینه انتخاب گردید. شبکه منتخب دارای تابع فعال‌سازی لوگاریتم-سیگموئید برای لایه پنهان و تابع خطی برای لایه خروجی بود. همچنین شبکه شامل ۱۴ نرون در لایه میانی بود. نرخ طبقه‌بندی صحیح مربوط به انواع مختلف طبقه‌بندی در جدول (۱) ارائه شده است.



جدول ۱. طبقه‌بندی تصاویر فراطیفی پسته سالم و پسته آلوده به جدایه KK11 از قارچ اسپرژیلوس فلاووس در مراحل مختلف

رشد قارچ.

نرخ طبقه‌بندی صحیح (%)		نوع طبقه‌بندی
ANN	KFCV	
۹۶/۸۰	۹۸/۵۵	دوراهه
۹۱/۹۰	۹۸/۲۶	سه‌راهه
۸۳/۲۰	۹۵/۳۶	چهارراهه
۵۴/۲۰	۷۶/۲۳	هشت‌راهه

در این جدول چهار نوع طبقه‌بندی در نظر گرفته شده است:

۱) طبقه‌بندی دوراهه: طبقه‌بندی ۱- پسته سالم و ۲- پسته آلوده بدون در نظر گرفتن مرحله آلودگی، یعنی پسته آلوده یک، دو، ... و هفت روزه.

۲) طبقه‌بندی سه‌راهه: طبقه‌بندی ۱- پسته سالم، ۲- پسته آلوده یک روزه، ۳- آلودگی بیشتر از یک روزه، یعنی پسته آلوده دو، سه، چهار، پنج، شش و هفت روزه.

۳- طبقه‌بندی چهارراهه: طبقه‌بندی ۱- پسته سالم، ۲- پسته آلوده یک روزه، ۳- پسته آلوده دو و سه روزه و ۴- آلودگی بیشتر از سه روزه، یعنی پسته آلوده چهار، پنج، شش و هفت روزه.

۴) طبقه‌بندی هشت‌راهه: طبقه‌بندی تمام انواع پسته هر کدام در طبقه خاص خود، یعنی ۱- پسته سالم، ۲- پسته آلوده یک روزه، ۳- پسته آلوده دو روزه، ... و ۸- پسته آلوده هفت روزه.

با توجه به جدول (۱)، نرخ طبقه‌بندی صحیح جهت تشخیص پسته سالم و آلوده به قارچ بدون در نظر گرفتن مرحله آلودگی (طبقه‌بندی دوراهه) توسط روش اعتبارسنجی K-بخشی ۹۸/۵۵٪ در حالی که از آن روش شبکه عصبی مصنوعی ۹۶/۸۰٪ به دست آمد. نرخ طبقه‌بندی صحیح توسط روش اعتبارسنجی K-بخشی برای تمام انواع طبقه‌بندی از روش شبکه عصبی مصنوعی بالاتر بود.

همچنین با توجه به جدول بالا، مشاهده می‌شود که روش فراطیفی دارای توانایی بالایی در طبقه‌بندی پسته سالم و آلوده به قارچ در مراحل یک، دو، سه و بیشتر از سه روز می‌باشد. از آن جا که قارچ آلوده کننده معمولاً بعد از سه روز شروع به تولید سم می‌نماید، می‌توان گفت که یکی از دلایل کاهش دقت طبقه‌بندی روش‌های طبقه‌بندی از چهار راهه به هشت راهه تولید سم آفلا



توکسین می‌باشد که موجب شده است روش‌های طبقه‌بندی نتوانند با دقت بالایی آلودگی‌های سه روز به بالا را از هم تشخیص دهند. لذا روش مورد استفاده در این تحقیق روش امیدوار کننده‌ای جهت تشخیص سم آفات توکسین در پسته می‌باشد. دقت طبقه‌بندی تصاویر فراطیفی توسط Gomez-Sanchis *et al.*, 2008 برای تشخیص آلودگی به قارچ پنیسیلیوم دیجیتاتیوم در مرکبات برابر با ۹۱/۰۰٪ گزارش شده است. دقت طبقه‌بندی Singh *et al.*, 2007 برای طبقه‌بندی گندم سالم و آلوده به قارچ بدون در نظر گرفتن مراحل مختلف آلودگی بین ۹۵/۰۰ تا ۱۰۰/۰۰٪ (میانگین کمتر از ۹۸/۰۰٪) با استفاده از روش تصویربرداری فراطیفی بود. اما دقت طبقه‌بندی نمونه‌های پسته سالم و آلوده به قارچ بدون در نظر گرفتن مرحله آلودگی و نوع جدایه آلوده کننده در تحقیق حاضر برابر ۹۸/۵۵٪ با استفاده از روش KFCV به دست آمد. با توجه به نتایج طبقه‌بندی Gomez-Sanchis *et al.*, 2008 و Singh *et al.*, 2007، دقت طبقه‌بندی این تحقیق بالاتر می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق از روش تصویربرداری فراطیفی برای تشخیص آلودگی قارچی در مغز پسته رقم اکبری استفاده شد. پس از تحلیل، تصاویر با استفاده از روش‌های اعتبارسنجی K-بخشی و شبکه عصبی مصنوعی طبقه‌بندی گردیدند. نرخ طبقه‌بندی صحیح جهت تشخیص پسته سالم و آلوده به قارچ بدون در نظر گرفتن مراحل آلودگی توسط روش اعتبارسنجی K-بخشی (۹۸/۵۵٪) بیشتر از روش شبکه عصبی مصنوعی (۹۶/۸۰٪) به دست آمد. در نهایت نتیجه گرفته شد که روش تصویربرداری فراطیفی و روش‌های طبقه‌بندی مورد استفاده دارای توانایی بالایی در طبقه‌بندی پسته سالم و آلوده به قارچ در مراحل یک، دو، سه و بیشتر از سه روز می‌باشد که می‌توان از این روش جهت تشخیص سم آفات توکسین در پسته مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

- ۱- باغبانی علمی، ۱۳۹۱. در: <http://horticulture.persianblog.ir/post/95>.
- ۲- خیرعلی‌پور، ک. ۱۳۹۱. پیاده‌سازی و ساخت سامانه تشخیص آلودگی قارچی مغز پسته بر اساس فناوری گرمانگاری و پردازش تصویر. رساله دکتری، مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۳- حیدریان، ر. ۱۳۸۳. مقایسه جدایه‌های قارچ *Aspergillus flavus* بر اساس گروه‌های سازگاری ریشی و واکنش زنجیره‌ای پلیمرز در منطقه پسته کاری استان کرمان، کارشناسی ارشد، گیاه‌پزشکی، دانشکده علوم ومهندسی کشاورزی، دانشگاه تهران.
- ۴- خواص پسته. ۱۳۹۰. در: <http://www.tebyan.net>.
- ۵- کانون انجمن‌های صنفی صنایع غذایی ایران. شاخه: اقتصادی صنایع غذایی. ۱۳۸۸.
- 6- Bahar, B. and T. Altuğ. 2012. Carry-over of Aflatoxins to fig molasses from contaminated dried figs. *International Journal of Food Properties*. 341-346.
- 7- Chelladurai, V., D. S. Jayas, and N. D. G. White. 2010. Thermal imaging for detecting fungal infection in stored wheat. *Journal of Stored Products Research*. 46: 174-179.
- 8- Gomez-Sanchis, J., L., Gomez-Chova, N., Aleixos, G., Camps-Valls, C. Montesinos-Herrero, E. Molto, and J. Blasco. 2008. Hyperspectral system for early detection of rotteness caused by *Penicillium digitatum* in mandarins. *Journal of Food Engineering*. 89. 80-86.



- 9- Narvankar D. S., C. B. Singh, D. S. Jayas, and N. D. G. White. 2009. Assessment of soft X-ray imaging for detection of fungal infection in wheat. *Biosystems Engineering*. 103. 49-56.
- 10- Singh, C. B. 2009. Detection of insect and fungal damage and incidence of sprouting in stored wheat using near-infrared hyperspectral and digital color imaging. Ph.D. dissertation. University of Manitoba, Winnipeg, Canada.
- 11- Singh, C. B., D. S. Jayas, J. Paliwal, and N. D. G. White. 2007. Fungal detection in wheat using near-infrared hyperspectral imaging. *Transactions of the ASAE*. 50. 2171-2176.
- 12- Zijuan, Z. 2011. World Production and Trade of Pistachios: the Role of the U.S. and Factors Affecting the Export Demand of U.S. Pistachios. M.Sc. thesis. University of Kentucky UKnowledge.





Detection of fungal infection of pistachio kernel based on hyperspectral imaging technique

Abstract

Inspection and diseases detection of agricultural products is one of the important and sensitive stages of post harvest operations. In this regard, hyperspectral imaging is a powerful method that recently was considered by researchers. In this research, the method was used for classification of healthy and infected pistachio kernel by *Aspergillus Flavus*, KK11 isolate. The imaging system was included a camera, a 25 mm lens, two multi wavelength filters, a lighting source, a personal computer, a digital frame grabber, and hyper acquisition software. Eight different classes included; healthy pistachio and infected pistachio in seven stage of fungal growing, i.e. 1-day infected to 7-day infected, were researched. Around 48 samples were considered for each class. Each hypercube include 75 image layers, from 960 to 1700 nm with 10 nm intervals. After preprocessing of the image in MATLAB 2010a software, principle component analysis method was used to obtain the effective wavelengths for classifying the different classes of the pistachio. These wavelengths, 1090, 1280 and 1700 nm was selected. After extracting the different features from the selected wavelengths, the obtained data were classified by artificial neural network and K-fold cross validation methods. The correct classification rates of the classifiers to distinguish the healthy and infected pistachio kernels without considering the infecting stages were 96.80 and 98.55 %, respectively.

Keywords: Fungal Infection, *Aspergillus Flavus*, Image Processing, Hyperspectral Imaging Technique, Pistachio Kernel.