بررسی تأثیر جداسازی بر اساس ویژگی‌های ظاهری بر کاهش آفلاتوکسین در پسته فرآوری شده

مهدخت ارجمندکرمانی[1*]، حمید علیپور[2]

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۱۰/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۶

چکیده

آفلاتوکسین از مهم‌ترین آلاینده‌های قارچی پسته است که خطری برای سلامت محسوب می‌شود. این پژوهش به منظور تعیین تأثیر جداسازی کیفی پسته‌های فرآوری شده بر اساس شکل ظاهری، بر میزان آلودگی به آفلاتوکسین محموله مورد عرضه به بازار، نمونه‌برداری در سه تکرار از پسته فرآوری شده از هر یک از ارقام فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی انجام شد. هر نمونه پس از جداسازی بر اساس مشخصات ظاهری میوه به ترتیب به هفت دسته‌ی زرد-قهوه‌ای، خاکستری-سیاه، آسیب دیده، دهان‌بسته، درشت، متوسط و ریز تقسیم و پس از شمارش و وزن نمودن هر دسته، مقدار آفلاتوکسین آنها به روش TLC-Scanner اندازه‌گیری شد. نتایج در قالب طرح فاکتوریل با دو فاکتور شکل ظاهری پسته (اندازه و رنگ) و رقم پسته تجزیه‌ی آماری و میانگین‌ها به روش دانکن مقایسه شدند. نتایج نشان داد مقدار آفلاتوکسین در پسته‌های بدون لکه بسیار کم و نزدیک به صفر است. میانگین آفلاتوکسین اندازه‌گیری شده در پسته‌های لکه‌دار زرد-قهوه‌ای در سه رقم فوق به ترتیب ۱۳۶/۲۵، ۶۳۲/۳۸ و ۱۲۰/۳۵ نانوگرم برگرم و در پسته‌های خاکستری-سیاه به ترتیب ۸/۶۸، ۲۹۲/۲۸ و ۷/۲۸ نانوگرم برگرم بود. با جداسازی پسته‌های لکه‌دار، به ترتیب ۸۹/۵۲، ۹۶/۴۳ و ۹۵/۱۰ درصد از آلودگی به آفلاتوکسین در ارقام فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی کاسته شد. از نظر آماری بین مقدار آفلاتوکسین در پسته‌های لکه‌دار ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد و بیشترین مقدار آفلاتوکسین در پسته‌های با لکه‌های زرد-قهوه‌ای رقم احمدآقایی بود. اما در هر سه رقم با جداسازی پسته های لکه‌دار، آفلاتوکسین به میزان قابل توجهی در محموله نهایی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: پسته، آفلاتوکسین، جداسازی.

۱ بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی- کرمان- ایران.

۲ پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی- رفسنجان- ایران.

* نویسنده مسئول: mahdokht_arjomand@yahoo.com

مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) به‌عنوان یکی از محصولات شاخص بخش خشک‌بیابانی در جهان، نه‌تنها از نظر تجاری و اقتصادی اهمیت دارد، بلکه به‌دلیل ارزش غذایی بالا و تقاضای گسترده مصرف‌کنندگان در بازارهای داخلی و صادراتی نیز مورد توجه قرار گرفته است. لذا پسته یکی از مهمترین محصولات باغی کشور می‌باشد که اهمیت زیادی در صادرات و اقتصاد کشور دارد. بر اساس آمار وزارت جهادکشاورزی در سال ۱۴۰۳، سطح زیر کشت باغات پسته در کشور ۴۰۰۰۰۰ هکتار و باغات مثمر ۳۲۰۰۰۰ هکتار با تولید سالیانه حدود ۲۴۰ هزار تن پسته خشک در ایران وجود دارد و میزان صادرات پسته ۱۳۵۰۰۰ تن به ارزش بیش از ۱/۶ میلیارد دلار رسید که این عدد به تنهایی نزدیک به ۳۰ درصد از کل ارزش ۵/۲ میلیارد دلاری صادرات محصولات کشاورزی را تشکیل می‌دهد و نشان‌دهنده تسلط بلامنازع این محصول در سبد تجاری کشور است.

با این حال، پسته به‌طور طبیعی در معرض آلودگی‌های میکروبی و متابولیت‌های سمی قارچی قرار دارد که می‌تواند کیفیت و ایمنی آن را به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار دهد. یکی از جدی‌ترین چالش‌ها در این زنجیره، آلودگی به آفلاتوکسین‌ها است؛ گروهی از متابولیت‌های ثانویه تولیدشده توسط قارچ‌های جنس *Aspergillus* که به‌عنوان عوامل کلاسیک سرطان‌زایی شناخته می‌شوند و می‌توانند سلامت مصرف‌کننده را تهدید کنند. قارچ‌های گروه آسپرژیلوس در محصولات کشاورزی اغلب کشورهای مناطق گرمسیری یافت می‌شوند (Cotty & Jaime-Garcia, 2007; CAST, 2003; Muller and Basedow, 2007). انواع آفلاتوکسین براساس رنگ فلورسانس و حرکت نسبی روی صفحه کروماتوگرافی (TLC) به چهار گروه عمده B_1، B_2، G_1 و G_2 تقسیم بندی می شوند. که افلاتوکسین B_1 خطرناک‌ترین آنها می‌باشد (Cotty and Jaime-Garcia, 2007; CAST, 2003; Muller and Basedow, 2007; Esmail pour *et al*., 2000; Moradi & Ershad., 2000; Mirabolfathy *et al*., 2005; Heidarian *et al*., 2005). تنش‌های محیطی مانند تغییرات دما و رطوبت محیطی، فراوانی و تکثیر این قارچ را به میزان زیادی تحت تاثیر قرار می‌دهد (Wotton and Strange, 1987; Doster & Michailides, 1994, Hadavi, 2005; Doohan *et al*., 2003; Doyle et *al*., 1987). مطالعات زیادی در مورد افلاتوکسین موجود در پسته و راه‌های کنترل آن در ایران انجام شده است (Yazdanpanah *et al*., 2006; Yazdanpanah *et al*., 2005; Kamkar, 2005; Hadiani *et al*., 2003; Heidarian *et al*., 2005; Shephard *et al*., 2002; Shephard *et al*., 2000; Yazdanpanah *et al*., 2001). آلودگی به افلاتوکسین‌ها در پسته معمولاً از دوره تولید در باغ آغاز شده و در مراحل برداشت، خشک‌کردن،

ذخیره‌سازی و فرآوری ادامه می‌یابد، به‌طوری‌که آلودگی بالا می‌تواند منجر به رد یا نابودی محموله‌ها در بازارهای صادراتی شود. آنچه مسلم است علیرغم رعایت بسیاری از اصول باغبانی، آلوده شدن درصدی از محصول پسته به سم آفلاتوکسین، اجتناب ناپذیر است و بایستی با استفاده از روش‌های مؤثر قبل و پس از برداشت در صد پسته‌های آلوده را کاهش داد (Esmail pour *et al*., 2000).

تحقیقات نشان می‌دهد زودخندانی و برداشت دیر هنگام دو عامل مهمی هستند که سبب آلوده شدن پسته به سم آفلاتوکسین در باغ می‌شوند. شکافی که در روی پوست نرم رویی دانه‌های زود خندان ایجاد می‌شود راه ورود برای داخل شدن اسپور قارچ‌های هوازاد و حشرات و جانوران کوچک دیگر است که ممکن است حامل اسپور قارچ‌ها باشند (Sommer et *al*., 1986; Doster & Michailides, 1995; 1999). در واقع قارچ آسپرژیلوس از این طریق مغز پسته را به آفلاتوکسین آلوده می‌کند (Tajabadipour, 1998; Mutegi *et al*., 2009). به گزارش این محققان احتمال اینکه یک دانه زود خندان به آفلاتوکسین آلوده باشد سه برابر دانه‌های سالم است (Doster & Michailides, 1995). کاهش رطوبت و خشک و چروکیده شدن پوست نرم رویی نشان دهنده گذشت زمان زیاد از ایجاد ترک خوردگی و بیشتر بودن احتمال آلودگی است. در سال‌های اخیر شناسایی و جداسازی دانه‌های زود خندان در هنگام فرآوری و خشک کردن پسته به دلیل تشکیل کامل لایه جداکننده بین پوست استخوانی و پوست نرم رویی مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (Shakerardakani, *et al*., 2012). دانه‌های مشکوک به آلودگی اغلب دارای لکه‌هایی روی پوست استخوانی می‌باشند که هرچه سطح لکه بیشتر باشد نشان دهنده این است که دانه پس از پاره شدن پوست مدت زمان بیشتری در روی درخت بوده و احتمال آلودگی آن بیشتر است. رنگ این لکه‌ها از زرد تیره تا قهوه‌ای متغیر است. معمولاً وجود لکه‌های خاکستری و سیاه در روی پوست استخوانی تعدادی از دانه‌های پسته که پوست آنها در باغ شکاف نخورده‌اند می‌تواند به دلیل برداشت دیر هنگام محصول و یا گرما و فشار ناشی از انباشتگی محصول پس از برداشت و قبل از پوست‌گیری و خشک کردن آن باشد. بدلیل شرایط مناسب برای آلوده شدن دانه‌های سالم از زمان برداشت تا قبل از خشک کردن، احتمال آلوده بودن آنها نیز وجود دارد. بنابراین جداسازی دانه‌های آلوده از محموله‌های صادراتی می‌تواند در کاهش آلودگی نقش داشته باشد (Sommer et *al*., 1986; Doster & Michailides, 1995 ; 1999).

از این خصوصیت می‌توان برای جداسازی پسته‌های زود خندان از پسته‌های سالم استفاده کرد و با دستکاری دستگاه‌هایی که برای پوست‌گیری به کار می‌روند به این

نتیجه رسیدند که می‌توان شرایط پوست گیری را طوری فراهم کرد که ۹۸٪ پسته‌های زود خندان پوست نشده باقی بمانند در حالیکه ۹۵٪ پسته‌های سالم پوست گیری شوند. جداسازی پسته‌های سبک در تانک‌های شناور هم از راه‌های کاهش آفلاتوکسین می‌باشد بطوریکه می‌توان بسیاری از پسته‌های لکه‌دار که حاوی مقادیر زیادی آفلاتوکسین هستند را به این روش جدا کرد. با این وجود تمام پسته‌های لکه‌دار سبک نیستند و در تانک‌های شناور ته نشین شده و همراه پسته‌های سالم به مراحل بعدی منتقل و خشک می‌شوند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری آفلاتوکسین در پسته‌های خیلی ریز با وزن کمتر از ۰/۵ گرم نشان می‌دهد که رابطه مشخصی بین اندازه پسته و میزان آلودگی آنها به آفلاتوکسین وجود ندارد (Pearson, *et al.*, 1994).

در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای ساخت و به کارگیری دستگاه‌های مکانیزه پوست‌گیری، فرآوری و خشک‌کردن پسته به عمل آمده، تا در زمان خشک‌کردن پسته تعداد زیادی ازاین دانه‌ها از پسته‌های سالم و درشت جدا شوند. با وجود این، همواره درصدی از دانه‌های آلوده در محموله‌هایی که قرار است برای صادرات آماده شوند وجود دارد و جدا سازی آنها در شرکت‌های صادراتی انجام می‌شود. در حال حاضر در اغلب شرکت‌های صادراتی تنها برای درجه‌بندی پسته‌ها از نظر اندازه از دستگاه‌های غربال و برای تفکیک پسته‌های دهن بسته از دستگاه‌های جدا کننده سوزنی استفاده می‌شود و بقیه عملیات آماده سازی که شامل جدا کردن پسته‌های لکه‌دار و آسیب دیده است، توسط کارگران و بطور دستی انجام می‌شود.

اگرچه این عمل بسیار پر هزینه و وقت‌گیر است اما به دلیل داشتن توجیه اقتصادی، از اهمیت زیادی برخوردار است و باید مورد توجه دست‌اندرکاران باشد. امروزه استفاده از دستگاه‌های جدا کننده رنگ یا کالرسورترها[1] که در مورد جداسازی بسیاری از محصولات کشاورزی کاربرد دارند کم کم در صنعت پسته وارد شده است.

در این زمینه، سورتینگ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراحل کنترل کیفیت پس از برداشت ظاهر می‌شود. سورتینگ شامل جداسازی فیزیکی دانه‌های سالم از دانه‌های معیوب بر اساس ویژگی‌های ظاهری مثل اندازه، رنگ، لکه‌ها، ترک‌ها یا شاخص‌های وزن و دانسیته است و توانسته است به‌طور مؤثری سهم آلودگی آفلاتوکسین را کاهش دهد. تحقیقات نشان داده‌اند که جداسازی دانه‌های کوچک، لکه‌دار یا با پوسته آسیب‌دیده می‌تواند بخش قابل‌توجهی از بار آفلاتوکسین را از جریان اصلی محصول حذف کند و به بهبود کیفیت محصول نهایی کمک کند (Gharibzahedi & Savas, 2025). علاوه بر این،

2- colorsorters

روش‌های پیشرفته‌تر سورتینگ شامل به‌کارگیری فناوری‌های نوین مانند بینایی ماشین و یادگیری عمیق برای تشخیص خودکار دانه‌های دارای علائم خطر احتمالی آلودگی، در سال‌های اخیر توجه محققان قرار گرفته است. این رویکردها می‌توانند سرعت و دقت جداسازی را نسبت به روش‌های سنتی به‌طور چشمگیری افزایش دهند و در نهایت به کاهش سطح آلودگی آفلاتوکسین در محصول کمک کنند (Hadani *et al*., 2017; Williams *et al*., 2025).

به طور کلی روش‌های کنترل آفلاتوکسین در پسته معمولاً بر اساس جداسازی مغزها یا دانه‌های آلوده (که اغلب علائم ظاهری دارند) استوارند. در زیر در خصوص این روش‌ها توضیحات مختصری داده شده است :

۱. پوست‌گیری مکانیزه[1]: بلافاصله پس از برداشت، پوست سبز و مرطوب (اِپیکارپ) پسته جدا می‌شود. این کار از ماندن پسته‌های با پوست سبز چسبیده (که عامل اصلی رشد قارچ و تولید سم است) جلوگیری کرده و رطوبت را کاهش می‌دهد. از مزایای آن سرعت بالا، کاهش چشمگیر رطوبت اولیه است، اما چنانچه با تأخیر انجام شود، قارچ فرصت رشد یافته و سبب آلودگی پسته می‌شود (Doster & Michailides, 1994).

۲. خشک‌کردن سریع و مناسب[2]: پس از پوست‌گیری، پسته‌ها باید سریعاً به رطوبت پایین (زیر هفت درصد) برسند تا رشد قارچ متوقف شود. این مرحله مبنای تمام مراحل بعدی است (Shakerardekani *et al*., 2011).

۳. غربال[3]: پسته‌ها بر اساس اندازه از شبکه‌های مشبک عبور داده می‌شوند. پسته‌های زودخندان که بیشترین احتمال آلودگی را دارند، معمولاً کوچک‌تر و سبک‌تر هستند و در این مرحله جدا می‌شوند، اما دقت این روش محدود است زیرا برخی پسته‌های آلوده اندازه‌ای نرمال دارند و حذف نمی‌شوند (Schatzki & Pan, 1996).

۴. جداسازی دستی[4]: در خطوط تولید، کارگران آموزش‌دیده پسته‌های با علائم واضح آلودگی (لکه‌های تیره، تغییر رنگ، چروکیدگی، سوراخ حشرات، پوسته چسبیده) را جدا می‌کنند. از محدودیت‌های این روش می‌توان پر هزینه و خسته‌کننده بودن و همچنین همراه بودن با خطای انسانی را نام برد. همچنین بسیاری از آلودگی‌های داخلی (پنهان) قابل تشخیص نیستند (Jalili *et al*., 2012).

۵. جداسازی در تانک شناور[5]

پسته‌ها در تانک‌های آب یا محلول‌های نمکی (مانند آب نمک ۲۰-۲۵٪) شناور می‌شوند. پسته‌های سبک[6] که

1 Mechanical Hulling
2 Rapid Drying
3 Sieving/Screening
4 Hand Sorting
5 Flotation Tank Separation
6 Light Floaters

شامل پسته‌های پوک، زودخندان و اغلب آلوده به حشرات و قارچ هستند، روی سطح شناور شده و جدا می‌شوند. از مزایای این روش ساده‌گی و مؤثر بودن برای حذف پسته‌های پوک و زودخندان است اما از محدودیت‌های آن می‌توان نیاز به خشک‌کردن مجدد، امکان آلودگی متقابل آب، حذف ناقص پسته‌های آلوده با چگالی بالا را نام برد (Pearson *et al*., 1994).

۶. کالر سورتر[1]: پیشرفته‌ترین روش صنعتی رایج است که پسته‌ها به صورت تکی از مقابل حسگرهای نوری با وضوح بالا (عموماً در طیف مرئی و مادون قرمز) عبور می‌کنند. سیستم با مقایسه رنگ، شدت نور و گاهی طیف بازتابی هر پسته با الگوهای از پیش تعریف‌شده، پسته‌های دارای لکه، تغییر رنگ و علائم مشکوک را با وزش باد (پنوماتیک) جدا می‌کند. از مزایای این روش سرعت بسیار بالا (تنها در چند نانوثانیه)، دقت فوق‌العاده، قابلیت تنظیم حساسیت آن است. اما از محدودیت‌های آن هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالا است. همچنین، عمدتاً بر اساس علائم ظاهری کار می‌کند و قادر به تشخیص سم داخلی در پسته‌های با ظاهر سالم نیست (Haff & Pearson, 2006; Pearson, 1996).

۷. بینایی ماشین و تکنیک‌های طیف‌سنجی[2]: این فناوری‌های نوین فراتر از سورترهای رنگی معمولی عمل می‌کنند و شامل:

۷-۱- طیف‌سنجی تصویری مادون قرمز نزدیک[3]: همزمان اطلاعات مکانی و طیفی (در محدوده ۹۰۰-۱۷۰۰ نانومتر) را جمع‌آوری می‌کند. از آنجایی که ترکیب شیمیایی دانه‌های آلوده (مثلاً وجود نیتروژن بیشتر ناشی از متابولیسم قارچ) متفاوت است، الگوی طیفی متمایزی ایجاد می‌کند که توسط دوربین و الگوریتم‌های پردازش تصویر تشخیص داده می‌شود (Kheiralipour *et al.,* 2021).

۷-۲- فلورسانس[4]UV : برخی مواد سمی یا متابولیت‌های قارچ تحت نور UV خاصیت فلورسانس از خود نشان می‌دهند.

از مزایای این روش‌ها این است که پتانسیل تشخیص آلودگی‌های پنهان[5] را دارند همچنین غیرمخرب و دقیق می‌باشند. اما از محدودیت‌های آن بسیار گران و پیچیده بودن نام برد لذا عمدتاً در مرحله تحقیق و توسعه یا در صنایع پیشرفته.

۸. روش‌های الکترونیکی و دیگر روش‌ها:

1 Color Sorter
2 Machine Vision & Spectral Imaging
3 NIR-Hyperspectral Imaging
4Ultra violet
5 Internal defects

۸-۱- جداسازی بر اساس خواص دی‌الکتریک: پسته‌های آلوده ثابت دی‌الکتریک متفاوتی دارند.

۸-۲- جداسازی بر اساس ارتعاشات آکوستیک: هنگام برخورد با سطح فلزی، صدای متفاوتی تولید می‌کنند.

۸-۳- تشخیص گاز[1]: پسته‌های آلوده ترکیبات آلی فرار خاصی متصاعد می‌کنند.

جمع‌بندی روش‌های بالا نشان می‌دهد که هیچ‌یک از روش‌ها به تنهایی قادر به حذف ۱۰۰ درصدآفلاتوکسین نیستند. لذا استراتژی صنعت مدرن، استفاده ترکیبی[2] از این روش‌ها در خط فرآوری است :

۱. "پوست‌گیری و خشک‌کردن سریع"(به عنوان پیش‌شرط).

۲. "غربال اولیه" برای حذف زودخندان‌ها و ریزدانه‌ها.

۳. "تانک شناور" برای حذف پسته‌های پوک و سبک.

۴. "کالر سورتر پیشرفته" (و در آینده احتمالی سیستم‌های هیپرسپکترال) به عنوان اصلی‌ترین مرحله کنترل.

۵. "جداسازی دستی نهایی" برای کنترل کیفیت.

این رویکرد چندمرحله‌ای[3] کارایی حذف پسته‌های آلوده را به حداکثر رسانده و سطح آفلاتوکسین را تا حد مجاز کاهش می‌دهد.

با وجود تحقیقات فراوان، ارزیابی سیستماتیک کارایی جداسازی دستی بر اساس دسته‌بندی ظاهری خاص (۷ دسته میوه زرد-قهوه‌ای، خاکستری-سیاه، آسیب دیده، دهان‌بسته، درشت، متوسط و ریز) روی سه رقم مهم تجاری فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی و میزان دقیق کاهش آفلاتوکسین محموله نهایی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. لذا این پژوهش به منظور تعیین تأثیر جداسازی کیفی پسته‌های فرآوری شده بر اساس شکل ظاهری، بر میزان آلودگی به آفلاتوکسین محموله مورد عرضه به بازار، در هر یک از ارقام فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی انجام شد. تا راهکارهایی علمی و قابل‌قبول برای بهبود کیفیت و ایمنی محصول ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌ها از ارقام پسته فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی که برای صادرات آماده‌سازی می‌شدند از دو شرکت صادراتی پسته در رفسنجان، دقیقاً قبل از مرحله غربال-گری، تهیه شد. تعداد نمونه‌های مورد بررسی هر شرکت صادراتی ۱۰ عدد از هر رقم بود که طی ۱۰ روز متوالی نمونه‌برداری در سه تکرار انجام شد، لذا کل نمونه های مورد بررسی برای هر رقم در هر یک از شرکت‌های صادراتی ۳۰ عدد بود، از ارقام فندقی و احمد آقایی،

1 Electronic Nose
2 Multilayer Sorting
3 Defense in Depth

نمونه‌های سه کیلوگرمی و از رقم کله‌قوچی، نمونه‌های چهار کیلوگرمی تهیه شد. در آزمایشگاه به صورت چشمی ابتدا تمام پسته‌های بدون لکه جداسازی، سپس از میان آنها پسته‌های دهان بسته (کاملاً بسته) و پسته‌های آسیب دیده (شامل کلیه پسته‌هایی که در طی مراحل برداشت و فرآوری دچار آسیب‌هایی همچون شکستگی، سوراخ شدگی و ... شده‌اند) جدا گردیده، باقیمانده به سه گروه پسته‌های ریز، پسته‌های دارای اندازه متوسط و پسته‌های درشت (بر اساس عرف تجاری هر رقم) تقسیم شدند. از طرف دیگر پسته‌های لکه‌دار که می‌توانند هر اندازه‌ای داشته باشند بر اساس رنگ لکه در دو دسته قرار داده شدند. به این ترتیب پسته‌های هر نمونه در هفت دسته مطابق جدول ۱ قرار گرفتند. در هردسته تعداد دانه‌ها شمارش شده و با ترازوی با دقت ۰/۰۱± گرم وزن شد.

جدول ۱- دسته‌بندی نمونه‌های ارقام پسته.

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
لکه‌دارزرد-قهوه ای	لکه‌دارخاکستری- سیاه	درشت	متوسط	ریز	آسیب دیده	دهن بسته

- اندازه‌گیری آفلاتوکسین

میزان آفلاتوکسین هر یک از دسته‌ها به روش TLC-Scanner اندازه گیری شد. برای این منظور ابتدا به ۵۰ گرم از نمونه پسته آسیاب شده ۲۵۰ میلی‌لیتر متانول ٪۵۵، ۱۰۰ میلی‌لیتر n- هگزان و ۴ گرم نمک طعام افزوده شد. مخلوط حاصل به مدت ۴۵ دقیقه شیکر و سپس صاف گردید. پس از صاف کردن، مقدار ۵۰ میلی‌لیتر از فاز متانولی برداشته، در قیف جدا کننده ریخته و به آن ۵۰ میلی‌لیتر کلروفرم افزوده و به شدت به مدت ۳ دقیقه تکان داده شد تا آفلاتوکسین به طور کامل وارد فاز کلروفرمی گردد. سپس فاز کلروفرمی را که در زیر قرار می‌گیرد جدا کرده، در دستگاه روتاری[1] در دمای ۴۰°C در شرایط خلاء خشک گردید. به بقایای خشک شده ۲۰۰ میکرولیتر حلال (n-هگزان-کلروفرم- استن) افزوده، ۱۰ میکرولیتر آن در روی پلیت درکنار استانداردهای ۰/۵، ۱، ۳ و ۵ نانوگرم بر گرم تزریق شد، سپس پلیت در تانکر ظهور حاوی حلال ظهور(کلروفرم- استن) در تاریکی قرار داده شد. اندازه‌گیری مقدار سم در هر یک از دسته‌ها از مقایسه نمونه و استانداردها توسط دستگاه TLC-Scanner CAMAG انجام شد (AOAC, 2006.).

- محاسبات

میانگین وزن هر دانه: با تقسیم وزن هر گروه بر تعداد دانه‌های آن، متوسط وزن یک دانه در گروه محاسبه شد.

3- rotary (Buchi Water. Bath – B – 480)

میانگین درصد وزنی دسته‌های مختلف: با تقسیم تعداد دانه هر دسته برتعداد دانه هر نمونه ضرب در عدد ۱۰۰ محاسبه شد.

میانگین اونس پسته: با گرفتن میانگین از اونس پسته (تعداد دانه پسته در ۲۸/۴ گرم پسته) در سه تکرار هر دسته محاسبه شد.

- مقدار آفلاتوکسین‌های B1 در دسته‌های مختلف: با ضرب مقدار آفلاتوکسین هر دسته در وزن آن مقدار سم در هر دسته مشخص شد. سپس مجموع سم موجود در دسته‌ها بر وزن اولیه نمونه تقسیم شد تا سم نمونه اولیه مشخص شود.

- درصد کاهش سم پس از جداسازی: مقدار سم هر دسته از مجموع سم هر نمونه کم شد و پس از کم کردن وزن دسته از وزن نمونه اولیه مقدار سم باقیمانده در نمونه محاسبه شد. درصد کاهش پس از کم کردن مقدار سم باقیمانده و تقسیم آن بر وزن سم اولیه و ضرب کردن در عدد ۱۰۰ تعیین شد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری سم موجود در هر دسته از ارقام پسته در قالب طرح فاکتوریل از نظر آماری تجزیه و میانگین‌ها به روش دانکن با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار داده شد.

نتایج

میانگین وزن یک دانه پسته:

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود در هر یک از ارقام بین دسته‌های مختلف از نظر وزنی ارتباطی وجود ندارد و صرفاً از نظر شکل و رنگ ظاهری دسته‌بندی انجام شده است لذا روش‌های فیزیکی جداسازی بر پایه وزنی، قابلیت استفاده برای دسته‌بندی پسته فرآوری شده را ندارد. اما بررسی آماری وزن دانه‌های لکه‌دار بین سه رقم فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود ندارد.

جدول۲– میانگین وزن یک دانه پسته (گرم) دردسته‌های مختلف پسته در سه رقم فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی.

	دهن‌بسته	آسیب‌دیده	ریز	متوسط	درشت	لکه‌دار خاکستری	لکه‌دار قهوه‌ای
فندقی	۰/۸۴ a	۰/۷۴ b	۰/۷۰ a	۰/۸۷ b	۱/۰۵ b	۰/۹۵ a	۱/۰۲ a
احمدآقایی	۱/۰۰ a	۰/۷۶ b	۰/۶۵ a	۰/۸۳ b	۱/۱۳ ab	۱/۰۶ a	۱/۰۶ a
کله‌قوچی	۱/۰۸ a	۰/۹۳ a	۰/۸۶ a	۰/۹۸ c	۱/۲۲ a	۱/۰۸ a	۱/۱۰ a

اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشترک نیستند، تفاوت آنها در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

میانگین درصد وزنی پسته‌های دسته‌های مختلف:

میانگین درصد وزنی پسته‌های دسته‌های مختلف درجدول ۳ نشان داده شده است. بطوریکه ملاحظه می‌شود مجموع پسته‌های لکه‌دار در رقم فندقی ۹/۲۹۱، در رقم احمدآقایی ۶/۸۶۸ و در رقم کله‌قوچی ۲/۲۸۸ درصد از وزن کل نمونه را تشکیل می‌دهد همچنین مجموع میانگین در صد وزنی پسته‌های آسیب دیده و دهن بسته در ارقام فندقی ۴/۸۳۸، احمدآقایی ۲/۰۷۶ و کله‌قوچی ۱/۵۷۷ درصد از وزن کل نمونه‌ها را تشکیل می‌داد. در حالیکه مجموع میانگین پسته‌های سالم و بدون لکه ارقام فندقی ۸۵/۸۷، احمدآقایی ۹۱/۰۵۲ و کله‌قوچی ۹۶/۱۳۴ بود.

جدول۳ - میانگین درصد وزنی پسته‌های دسته‌های مختلف در سه رقم فندقی،احمدآقایی، کله‌قوچی.

	لکه‌دارقهوه‌ای	لکه‌دار-خاکستری	درشت	متوسط	ریز	آسیب‌دیده	دهن‌بسته
فندقی	۴/۶۱ a	۴/۶۸ a	۶۶/۶۴ b	۱۶/۵۳ a	۲/۷۱ a	۱/۷۴ a	۳/۱۰ a
احمدآقایی	۲/۲۶ b	۴/۶۱ a	۸۵/۷۸ a	۴/۶۷ c	۰/۶۰ b	۰/۶۳ b	۱/۴۴ ab
کله‌قوچی	۱/۱۳ c	۱/۱۶ b	۸۷/۷۰ a	۷/۹۴ b	۰/۴۹ b	۱/۴۲ a	۰/۱۶ c

اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشترک نیستند، تفاوت آنها در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود میانگین درصد وزنی پسته‌های لکه‌دار قهوه‌ای در هر سه رقم فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی تفاوت معنی داری با یکدیگر دارد، همچنین میانگین درصد وزنی پسته‌های لکه‌دار قهوه‌ای رقم کله‌قوچی با دو رقم فندقی و احمدآقایی تفاوت معنی داری دارد.

میانگین اونس پسته دسته‌های مختلف در نمونه پسته:

میانگین اونس پسته دسته‌های مختلف در نمونه پسته در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. بطوریکه ملاحظه می‌شود از نظر اونس یا تعداد دانه در ۲۸/۴ گرم بین پسته-های ریز با پسته‌های آسیب دیده هر سه رقم تفاوت زیادی وجود ندارد ولی در رقم احمدآقایی اختلاف زیادی بین پسته‌های متوسط با پسته‌های دهان‌بسته وجود دارد و می‌توان گفت پسته‌های دهان‌بسته در این رقم سنگین‌تر هستند در حالیکه اختلاف بین پسته‌های با وزن متوسط و پسته‌های دهان بسته دو رقم دیگر خیلی زیاد نیست. اونس دانه‌های درشت در هر سه رقم نزدیک به اونس دانه‌های لکه‌دار است.

جدول ۴ – میانگین اونس نمونه‌های دسته‌های مختلف پسته در سه رقم فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی.

	لکه‌دار قهوه‌ای	لکه‌دار خاکستری	درشت	متوسط	ریز	آسیب‌دیده	دهان‌بسته
فندقی	۲۷/۶ a	۲۹/۷ a	۲۷/۱ a	۳۲/۷ a	۳۸/۹ ab	۳۸/۱ a	۳۳/۶ a
احمدآقایی	۲۶/۷ a	۲۶/۶ a	۲۵/۲ a	۳۴/۳ a	۴۳/۵ a	۳۷/۲ a	۲۸/۲ ab
کله قوچی	۲۵/۶ a	۲۶/۱ a	۲۳/۱ b	۲۵/۱ b	۳۲/۸ c	۳۰/۵ b	۲۴/۰ b

اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشترک نیستند، تفاوت آنها در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

مقدار آفلاتوکسین‌های Total (B1+ B2+G1+G2):), B2, B1

نتایج حاصل از اندازه گیری آفلاتوکسین‌های دسته-های مختلف نشان داد مقدار هر یک از آفلاتوکسین‌های G1,B2 و G2 در تمام نمونه‌ها بسیار کمتر از آفلاتوکسین B_1 بود. همچنین با توجه به اهمیت و سمیت کمتر این افلاتوکسین‌ها، فقط افلاتوکسین B_1 در نتایج آمده است. در جدول شماره ۵ میانگین آفلاتوکسین B_1 اندازه‌گیری شده در دسته‌های مختلف نشان داده شده است. بطوریکه ملاحظه می‌شود در همه ارقام بیشترین مقدار آفلاتوکسین مربوط به پسته‌های لکه‌دار زرد-قهوه‌ای و سپس پسته‌های لکه‌دار خاکستری- سیاه بود. بالا بودن مقدار آفلاتوکسین در پسته‌های لکه‌دار خاکستری- سیاه رقم احمدآقایی ممکن است به علت برداشت دیرهنگام محصول و یا ناکافی بودن مراقبت‌های پس از برداشت محصول باشد. احتمال اینکه حساسیت این رقم نسبت به رشد قارچها بیشتر از بقیه ارقام باشد نیز وجود دارد (Tajabadipour, 1998; Tajabadipour & Sheibani Tezerji, 2011) و نشان می-دهد که علاوه بر توجه بیشتر در زمان فرآوری و خشک کردن جداسازی پسته‌های لکه‌دار از محصول برای کاهش آفلاتوکسین نهایی اهمیت بیشتری دارد.

جدول ۵– میانگین آفلاتوکسین B1 در دسته‌های مختلف پسته در سه رقم فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی (ppb).

	لکه‌دارقهوه‌ای	لکه‌دارخاکستری	درشت	متوسط	ریز	آسیب‌دیده	دهان‌بسته
فندقی	۱۳۶/۲۵ b	۸/۶۸ b	۰/۳۹ b	۰/۹۸ b	۱/۲۴ b	۵/۳۳ b	۰/۲۸ b
احمدآقایی	۶۳۲/۳۸ a	۲۹۲/۲۸ a	۱/۳۴ a	۲/۶۵ a	۹۹/۵۰ a	۹/۳۶ a	۷/۵۸ a
کله قوچی	۱۲۰/۳۵ b	۷/۲۹ b	۰/۱۲ b	۰/۰۹ b	۰/۰۰ b	۰/۸۵ b	۰/۰۰ b

اعدادی که دارای حروف مشترک نیستند، تفاوت آنها در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

بر اساس درصد وزنی هر دسته (جدول ۳) و مقدار آفلاتوکسین B_1 در هر دسته (جدول ۵)، محاسبه مقدار آفلاتوکسین در نمونه اولیه امکان پذیر است که پس از محاسبه، میانگین سهم هر یک از دسته‌ها در آفلاتوکسین اولیه نمونه در جدول ۶ آورده شده است. بطوریکه ملاحظه می‌شود بیشترین سهم را دانه‌های لکه‌دار زرد و قهوه‌ای دارند و در همه رقم‌ها سهم پسته‌های بدون لکه کمتر از ۱۰٪ آفلاتوکسین اولیه هر نمونه است.

جدول ۶– میانگین درصد سهم هریک ازدسته‌های پسته درآفلاتوکسین B1 در رقم‌های فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی.

	لکه‌دار قهوه‌ای	لکه‌دار خاکستری	درشت	متوسط	ریز	آسیب‌دیده	دهان‌بسته
فندقی	۸۸/۹۷ a	۵/۶۷ b	۰/۲۵ a	۰/۶۴ a	۰/۸۱ b	۳/۴۸ a	۰/۱۸ b
احمدآقایی	۶۰/۵۷ b	۲۷/۹۸ a	۰/۱۱ b	۰/۲۴ b	۹/۵۱ a	۰/۸۷ b	۰/۷۲ a
کله‌قوچی	۹۳/۵۲ a	۵/۶۶ b	۰/۰۹ b	۰/۰۷ c	۰/۰۰ c	۰/۶۶ b	۰/۰۰ b

اعدادی که دارای حروف مشترک نیستند، تفاوت آنها در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

درصد کاهش آفلاتوکسین نمونه‌های پسته پس از جداسازی دانه‌های لکه‌دار در جدول ۷ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود بعد از جداسازی دانه‌های لکه‌دار در هر یک از ارقام فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی به ترتیب میزان ۸۹/۵۱، ۹۶/۴۳ و ۹۵/۱۰ درصد از میزان آفلاتوکسین هر محموله کاهش می‌یابد.

جدول ۷ – میانگین مقدار آفلاتوکسین B1 قبل و بعد از جداسازی دانه‌های لکه‌دار قهوه‌ای و خاکستری و مقدار درصد کاهش آفلاتوکسین پس از جداسازی کامل دانه‌های لکه‌دار قهوه‌ای و لکه‌دار خاکستری در سه رقم پسته فندقی، احمد آقایی و کله قوچی.

رقم	میانگین آفلاتوکسین اولیه (ppb)	میانگین افلاتوکسین پس از جداسازی لکه- دارقهوه ای (ppb)	میانگین درصد کاهش آفلاتوکسین	میانگین آفلاتوکسین پس از جداسازی لکه- دار قهوه‌ای و خاکستری (ppb)	میانگین درصد کاهش آفلاتوکسین
فندقی	۶/۸۸ b	۱/۰۲ b	۸۲/۵۴ a	۰/۶۳ b	۸۹/۵۱ a
احمدآقایی	۲۶/۵۸ a	۱۲/۷۱ a	۵۹/۳۹ b	۱/۵۷ a	۹۶/۴۳ a
کله‌قوچی	۱/۶۷ b	۰/۲۲ b	۸۹/۳۶ a	۰/۱۳ b	۹۵/۱۰ a

اعدادی که دارای حروف مشترک نیستند، تفاوت آنها در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

مقایسه میانگین کلی آفلاتوکسین B_1 موجود در دسته‌های مختلف که در جداول ۸ و ۹ آورده شده نشان می‌دهد تفاوت بین دانه‌های لکه‌دار قهوه‌ای با بقیه دانه‌ها کاملاً معنی‌دار است. همچنین مقایسه میانگین کلی آفلاتوکسین B_1 در پسته‌های لکه‌دار قهوه‌ای و لکه‌دار خاکستری در رقم احمدآقایی تفاوت معنی‌داری با دسته-های مشابه در ارقام فندقی و کله‌قوچی دارد و بیشترین مقادیر مربوط به پسته‌های لکه‌دار قهوه‌ای و پس از آن لکه‌دار خاکستری رقم احمدآقایی است.

جدول ۸- مقایسه میانگین کلی آفلاتوکسین B1 در دسته‌های مختلف ارقام فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی (ppb).

	لکه‌دار قهوه‌ای	لکه‌دار خاکستری	درشت	متوسط	ریز	آسیب‌دیده	دهان‌بسته
فندقی	۱۳۶/۳۰ c	۸/۶۸ d	۰/۳۹ d	۰/۹۸ d	۱/۲۴ d	۵/۳۳ d	۰/۲۸ d
احمدآقایی	۶۳۲/۴۰ a	۲۹۲/۳۰ b	۱/۳۴ d	۲/۶۵ d	۶/۰۰d	۹/۲۷ d	۷/۵۷ d
کله‌قوچی	۱۲۰/۳۰ c	۷/۲۹ d	۰/۱۲ d	۰/۰۴ d	۰/۰۰ d	۰/۸۵ d	۰/۰۰ d

اعدادی که دارای حروف مشترک نیستند، تفاوت آنها در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

جدول ۹- مقایسه میانگین کلی آفلاتوکسین کل در دسته‌های مختلف ارقام فندقی، احمدآقایی و کله‌قوچی. (ppb).

	لکه-دارقهوه‌ای	لکه‌دار-خاکستری	درشت	متوسط	ریز	آسیب‌دیده	دهان‌بسته
فندقی	۱۴۱/۴۰ c	۸/۸۰ d	۰/۳۹ d	۱/۰۷ d	۱/۲۴ d	۵/۸۶ d	۰/۳۰ d
احمدآقایی	۶۶۶/۶۰ a	۲۹۷/۷۰ B	۱/۳۴ d	۲/۶۵ d	۶/۰۳ d	۹/۳۷ d	۷/۵۹ d
کله قوچی	۱۲۲/۸۰ C	۷/۲۹ d	۰/۱۲ d	۰/۰۴ d	۰ d	۰/۸۵ d	۰ d

اعدادی که دارای حروف مشترک نیستند، تفاوت آنها در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

بحث

تحقیق انجام شده نشان می‌دهد که با جداسازی کلیه پسته‌های لکه‌دار اعم از زرد و قهوه‌ای و خاکستری میزان آفلاتوکسین محموله بطور قابل توجهی کاهش می‌یابد که این میزان حداقل نزدیک به ۹۰ درصد در رقم فندقی و حداکثر ۹۵ درصد در رقم احمدآقایی بدست آمد، که نشان می‌دهد جداسازی دانه‌های لکه‌دار تا چه اندازه می‌تواند در کاهش آفلاتوکسین محموله وارد شده به بازار نقش اساسی داشته باشد.

از طرف دیگر مقایسه میانگین کلی مقدار آفلاتوکسین موجود در دسته‌های مختلف پسته که در جداول ۸ و ۹ آمده است نشان می‌دهد تفاوت بین دانه‌های لکه‌دار زرد و قهوه‌ای با بقیه دانه‌ها کاملاً معنی‌دار است، همچنین تفاوت این دانه‌ها در بین ارقام مختلف نیز معنی‌دار است و بیشترین مقادیر مربوط به پسته‌های لکه‌دار زرد و قهوه‌ای رقم احمد آقایی است. حساسیت پسته‌های فندقی که بالاترین سطح زیر کشت و صادرات پسته را به خود اختصاص داده‌اند نسبت به آلودگی به آفلاتوکسین، به طور قابل ملاحظه‌ای از پسته‌های احمدآقایی کمتر است. با این حال در تمام گروه‌های پسته بهترین شاخص ظاهری که می‌تواند برای کاهش آلودگی کاربرد داشته باشد وجود لکه‌های زرد و قهوه‌ای در روی پوست استخوانی که عمدتا از زودخندانی پسته ناشی می‌شود، است (Tajabadipour & Sheibani Tezerji. 2011).

با اینکه در زمان فرآوری و خشک کردن پسته مقدار زیادی از دانه‌های ناسالم و لکه‌دار جدا می‌شوند، هنوز نزدیک به ده درصد پسته با کیفیت پایین در پسته‌هایی که قبل از صادرات غربالگری می‌شوند وجود دارد. چون جدا سازی این دانه‌ها بطور عمده به صورت دستی و توسط کارگران انجام می‌شود نیاز به وقت زیادی دارد و باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود. علاوه بر آنکه مقدار جداسازی بستگی به شرایط کاری کارگران و کیفیت سالن جداسازی دارد. استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی موجب بالا رفتن سرعت جداسازی و کاهش هزینه‌ها خواهد شد همچنین با توجه به مشابهت وزن دانه‌های لکه‌دار و سالم (جدول ۲)، روش‌های جداسازی

مبتنی بر ویژگی‌های ظاهری (رنگ لکه) نسبت به روش‌های مبتنی بر وزن ارجحیت دارند. بنابراین، توسعه و استقرار دستگاه‌های سورتینگ الکترونیکی (کالرسورتر) بر پایه بینایی ماشین برای تشخیص این لکه‌ها، راهکار بهینه‌ای است که هم دقت را بالا می‌برد و هم هزینه نیروی انسانی را کاهش می‌دهد. لذا این پژوهش به وضوح نشان می‌دهد که سورتینگ پیشرفته و هوشمند پسته بر پایه بینایی ماشین، نه تنها یک ابزار کنترل کیفیت ظاهری، بلکه یک راهبرد موثر و کارآمد برای مدیریت ایمنی مواد غذایی و کاهش آفلاتوکسین است. حذف هدفمند پسته-های لکه‌دار و مشکوک به‌طور میانگین تا ۹۲ درصد از آلودگی آفلاتوکسین در دسته پسته‌های درجه یک صادراتی را می‌تواند بکاهد. این فرآیند، آخرین و حیاتی-ترین مرحله در تضمین سلامت محصول و انطباق با استانداردهای سختگیرانه بین‌المللی (مانند اتحادیه اروپا) محسوب می‌شود. لذا برای تکمیل فرآیند جداسازی پسته-های مشکوک به آلودگی لازم است پس از عبور محصول پسته فرآوری شده از سورتینگ‌های پیشرفته، به منظور کنترل کیفیت محموله نهایی، جداسازی دستی نهایی قبل از ورود به بازار انجام شود.

نتیجه گیری کلی

سورتینگ دستی پسته یک روش موثر، ضروری در زنجیره کنترل کیفی برای کاهش خطر آفلاتوکسین است. این روش به عنوان یک مکمل برای تکنیک‌های آزمایشگاهی دقیق‌تر عمل می‌کند. پیاده‌سازی نظام‌مند و هوشمندانه این روش می‌تواند سهم مهمی در ارتقای ایمنی غذایی، حفظ سلامت مصرف‌کننده و تضمین موفقیت صادرات این محصول با ارزش ایران ایفا نماید.

منابع

۱. اسماعیل پور، علی، دهقانی یخدانی، حسین و میردامادیها، فاطمه. (۱۳۷۹). اثرات تأخیر در برداشت و زمان فرآوری بر میزان آفلاتوکسین در پسته. مجموعه مقالات چهاردهمین کنگره گیاهپزشکی ایران، اصفهان، ایران، ۱۲۹ صفحه.

۲. تاج آبادی پور، علی. (۱۳۷۷). زودخندانی و درصد آن در ارقام مختلف پسته. نشریه شماره ۷۷/۴۵۰ موسسه تحقیقات پسته ایران، رفسنجان. ۱۵ صفحه

۳. شاکراردکانی، احمد و میردامادیها، فاطمه. (۱۳۹۱). تأثیر جداسازی بر کاهش آفلاتوکسین پسته. *مجله کشاورزی و صنایع غذایی*، *۱۰*(۱)، ۴۵۹-۴۶۱.

۴. مرادی، محمد و ارشاد، جواد. (۱۳۷۹). تعیین تراکم گونه‌های کپک آسپرژیلوس در باغ‌های پسته کرمان در ماه‌های مختلف سال. در مجموعه مقالات چهاردهمین کنگره گیاه‌پزشکی ایران (صفحات ۵-۸).

5. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2006). Natural toxins. Official methods of analysis. Current through Revision 1 (18th ed.). Maryland: AOAC International.

6. CAST (Council for Agricultural Science and Technology). (2003). Mycotoxins risks in plant, animal and human systems. Task force report, No. 139.

7. Cotty, P. J., & Jaime-Garcia, R. (2007). Influences of climate on aflatoxin producing fungi and aflatoxin contamination. *International Journal of Food Microbiology*, *119*(1-2), 109-115.

8. Doohan, F. M., Brennan, J., & Cooke, B. M. (2003). Influence of climatic factors on Fusarium species pathogenic to cereals. *European Journal of Plant Pathology*, *109*(7), 755-768.

9. Doster, M. A., & Michailides, T. J. (1994, September). The development of early split pistachio nuts and their contamination by molds, aflatoxins, and insects. In *I International Symposium on Pistachio, 419,* 359-364.

10. Doster, M. A., & Michailides, T. J. (1995). The relationship between date of hull splitting and decay of pistachio nuts by Aspergillus species. *Plant Disease*, *79*, 766–769.

11. Doster, M. A., & Michailides, T. J. (1999). Relationship between shell discoloration of pistachio nuts and

incidence of fungal decay and insect infestation. *Plant Disease*, *83*(3), 259-264.

12. Doyle, M. P., & Marth, E. H. (1978). Aflatoxin is degraded at different temperatures and pH values by mycella of Aspergillus parasiticus. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, *6*(1), 95-100.
13. Gharibzahedi, S. M. T., & Savas, S. (2025). Processing and real-time monitoring strategies of aflatoxin reduction in pistachios: innovative nonthermal methods, advanced biosensing platforms, and AI-based predictive approaches. *Foods*, *14*(19), 3411
14. Hadavi, E. (2005). Several physical properties of aflatoxin-contaminated pistachio nuts: Application of BGY fluorescence for separation of aflatoxin-contaminated nuts. *Food Additives and Contaminants*, *22*(11), 1144-1153.
15. Hadavi, E., Feizi, H., & Gheibi, B. (2017). Aflatoxin-Contaminated Nut Separation by Applied Machinery and Processing Stages in Fresh Pistachio Processing Plant. *Frontiers in Microbiology*, *8*, 2404.
16. Hadiani, M.R., Yazdanpanah, H., Gazi khansari, M., Cheraghali, A.M. & Goodarzi, M. (2003). Survey of the natural occurrence of zearalenone in maize from northern Iran by thin-layer chromatography densitometry. *Journal of Food Additives & Contamination, 20*, 380–385.
17. Haff, R. P., & Pearson, T. C. (2006). An overview of the history, current status, and future directions of the pistachio industry with respect to aflatoxin contamination. *Stewart Postharvest Review*, *2*(5), 1-8.
18. Heidarian, R., Nikkhah, M. J., Peyambari, M., & Ormaz, B. (2005). Study on fungal contamination of pistachio seeds in Kerman province, Iran and some new fungi for Iranian pistachio mycoflora. In *IV International Symposium on Pistachios and Almonds, 726*, 615-618.
19. Jalili, M., Jinap, S., & Noranizan, M. A. (2012). Aflatoxin contamination in pistachio nuts: A review. *Journal of Food Additives & Contamination*, *29*(8), 1125-1135.
20. Kamkar, A. (2005). A study on the occurrence of aflatoxin M1 in raw milk produced in Sarab city of Iran. *Food control*, *16*(7), 593-599.
21. Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., Rafiee, S., Javan-Nikkhah, M., Jayas, D. S., ... & Malihipour, A. (2021). Processing the hyperspectral images for detecting infection of pistachio kernel by R5 and KK11 isolates of Aspergillus flavus fungus. *Iran.*

Journal of Biosyst Engineering, *52*(1), 13-25.

22. Mirabolfathy, M., Ghadarijani, M. M., & Waliyar, F. (2005, May). Variability in aflatoxicogenic potential and sclorotial production of A. flavus in pistachio in Iran. In *IV International Symposium on Pistachios and Almonds, 726*, 619-626.
23. Mousavi, M., et al. (2021). Rapid non-destructive detection of aflatoxin-contaminated pistachio kernels by fluorescence spectroscopy under UV excitation. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 101*(12), 5171-5177
24. Müller, P., & Basedow, T. (2007). Aflatoxin contamination of pods of Indian Cassia senna L. (Caesalpinaceae) before harvest, during drying and in storage: Reasons and possible methods of reduction. *Journal of Stored Products Research*, *43*(4), 323-329.
25. Mutegi, C. K., Ngugi, H. K., Hendriks, S. L., & Jones, R. B. (2009). Prevalence and factors associated with aflatoxin contamination of peanuts from Western Kenya. *International Journal of Food Microbiology*, *130*(1), 27-34.
26. Pearson, T. (1996). Machine vision system for automated detection of stained pistachio nuts. *LWT-Food Science and Technology*, *29*(3), 203-209.
27. Pearson, T. C., Slaughter, D. C., & Studer, H. E. (1994). Physical properties of pistachio nuts. *Transactions of the ASAE*, *37*(3), 913-918.
28. Schatzki, T. F., & Pan, J. L. (1996). *Distribution of aflatoxin in pistachios. 2. Distribution in freshly harvested pistachios. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *44*(10), 3226-3229.
29. Shakerardekani, A., Karim, R., Ghazali, H. M., & Chin, N. L. (2011). Types of dryers and their effect on the pistachio nuts quality-a Review. *Available at SSRN, 1965354*.
30. Shephard, G. S., Marasas, W. F., Leggott, N. L., Yazdanpanah, H., Rahimian, H., & Safavi, N. (2000). Natural occurrence of fumonisins in corn from Iran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *48*(5), 1860-1864.
31. Shephard, G. S., Marasas, W. F. O., Yazdanpanah, H., Rahimian, H., Safavi, N., Zarghi, A., ... & Rasekh, H. R. (2002). Fumonisin B 1 in maize harvested in Iran during 1999. *Food Additives & Contaminants*, *19*(7), 676-679.
32. Sommer, N. F., Buchanan, J. R., & Fortlage, R. J. (1986). Relation of early splitting and tattering of

pistachio nuts. *Phytopathology*, *76*, 692-694.

33. Tajabadipour, A., & Sheibani Tezerji, Z. (2011). Aflatoxin contamination of commercial pistachio cultivars in Iran. In *I International Symposium on Mycotoxins in Nuts and Dried Fruits, 963*, 129-132.
34. Spss, I. B. M. (2012). Statistical package for the social sciences. *Data analysis software packages. Version*, *21*.
35. Wotton, H. R., & Strange, R. N. (1987). Increased susceptibility and reduced phytoalexin accumulation in drought-stressed peanut kernels challenged with Aspergillus flavus. *Applied and Environmental Microbiology*, *53*(2), 270-273.
36. Williams, L., Shukla, P., Sheikh-Akbari, A., Mahroughi, S., & Mporas, I. (2025). Measuring the level of aflatoxin infection in pistachio nuts by applying machine learning techniques to hyperspectral images. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *25*(5), 1548.
37. Yazdanpanah, H., Miraglia, M., Calfapietra, F. R., & Brera, C. (2001). Natural occurrence of aflatoxins and ochratoxin a in corn and barley from mazandaran and golestan in north provinces of IR Iran. *Mycotoxin Research*, *17*(1), 21-30.
38. Yazdanpanah, H., Mohammadi, T., Abouhossain, G., & Cheraghali, A. M. (2005). Effect of roasting on degradation of aflatoxins in contaminated pistachio nuts. *Food and Chemical Toxicology*, *43*(7), 1135-1139.
39. Yazdanpanah, H., Shephard, G. S., Marasas, W. F., Van der Westhuizen, L., Rahimian, H., Safavi, S. N., ... & Ghiasian, S. A. (2006). Human dietary exposure to fumonisin B1 from Iranian maize harvested during 1998-2000. *Mycopathologia*, *161*(6), 395-401.

Effect of sorting of separation based on appearance characteristics on aflatoxin reduction in processed pistachios

Mahdokht Arjmand Kermani[1*], Hamid Alipoor[2]

Abstract

Aflatoxin is one of the most important fungal contaminants of pistachios and poses a health risk. This study was conducted to determine the effect of qualitative sorting of processed pistachios based on appearance characteristics, on aflatoxin contamination level in consignments supplied to the market. Sampling was conducted in three replicates from processed pistachios from each of the Fandoghi, Ahmad Aghaei and Kalle Ghochi cultivars. After separation based on visual characteristics of the fruit, each sample was categorized into seven groups: yellow-brown, gray-black, damaged, closed-shell (unsplit), large, medium, and small. After counting and weighing each group, their aflatoxin content was measured using the TLC-Scanner method. The results were analyzed using a factorial design with two factors: pistachio appearance (size and color) and pistachio cultivar, and means were compared using Duncan's test. The results showed that the amount of aflatoxin in pistachios without spots was very low and almost negligible. The mean aflatoxin measured in yellow-brown spotted pistachios of the three cultivars were 136.25, 632.38 and 120.35 ng/g, respectively, and in gray-black pistachios were 8.68, 292.28 and 7.28 ng/g, respectively. By separating the spotted pistachios, aflatoxin contamination was reduced by 89.52, 96.43 and 95.10% in the Fandoghi, Ahmad Aghaei and Kaleh Ghochi cultivars, respectively. Statistically, there is a significant difference between the aflatoxin content in spotted pistachios of different cultivars and the highest amount of aflatoxin was in yellow-brown spotted pistachios of Ahmad Aghaei cultivar. However, in all three cultivars, by separating spotted pistachios, aflatoxin is significantly reduced in the final consignment.

Key Words: Pistachio, Aflatoxin, sorting.

.

1 Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran.

2 Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute (HSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran.
∗ Corresponding author: mahdokht_arjomand@yahoo.com