دانش بیماری‌شناسی گیاهی (شاپای ا:۶۲۹۰-۲۵۸۸، شاپای چ: ۹۲۷۰-۲۲۵۱)
سال هفتم، جلد ۲، بهار و تابستان ۱۳۹۷
Plant Pathology Science (eISSN:2588-6290, pISSN:2251-9270)
Vol. 7(2), 2018

Review of Aflatoxin in Pistachio and its Control Strategies

MOHAMMAD MORADI [1]✉and SEYED REZA FANI[2]

1- Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran
2- Plant Protection Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran (✉Corresponding author: moradi@pri.ir)

Received: 22.10.2017 Accepted: 23.04.2018
Moradi M. and Fani S. R. 2018. A review of aflatoxin in pistachio and control strategies. *Plant Pathology Science* 7(2): 22-33. DOI: 10.2982/PPS.7.2.22

Abstract: Aflatoxin contamination of pistachio nut is a health challenge that can affect the economic value of the largest Iranian non-oil exports. This potent hepatocarcinogen mycotoxin is produced by some species of *Aspergillus*, particularly by *A. flavus*, under certain conditions during fruiting, harvesting, transportation and storage. Infection of pistachio to the fungus in the orchard is the key factor in its contamination with aflatoxin. This situation occurs with the formation of early splited pistachios and mechanical damages that caused by biotic and abiotic factors. The environmental temperature and relative humidity and the moisture content of pistachio, during the different stages of pistachio production and processing, have significant roles in the incidence and distribution of fungal contamination as well as the increasing of aflatoxin production. The inhibition of these factors is possible with applying of some agronomic, mechanical, physical and biological methods. Orchard establishment based on principles of gardening like optimal plant spacing, uniformity of cultivars, good pruning, proper irrigation method and nutrition along with on time harvesting, proper processing and storage, can guarantee the production of a healthy and valuable product. Biological controls using nontoxinogenic strains of *A. flavus* and yeasts are also recorded as successful strategies for reducing the pistachio aflatoxin.

Key words: *Aspergillus flavus*, Pistachio, Mycotoxin

مروری بر آفلاتوکسین در پسته و راهبردهای مهار آن

محمد مرادی [۱]✉ و سید رضا فانی [۲]

۱- پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان
۲- بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد

دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۳۰ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۳
مرادی م. و فانی س. ر. ۱۳۹۷. مروری بر آفلاتوکسین در پسته و راهبردهای کاهش آن. *دانش بیماری‌شناسی گیاهی* ۷(۲): ۳۳-۲۲. DOI: 10.2982/PPS.7.2.22

✉مسئول مکاتبه: moradi@pri.ir

چکیده: آلودگی پسته به آفلاتوکسین، یک چالش بهداشتی است که ارزش اقتصادی بزرگ‌ترین محصول صادراتی غیرنفتی کشور را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد. این زهرابه‌ی بالقوه سرطان‌زای کبد، توسط برخی گونه‌های قارچ *Aspergillus* به‌ویژه *Aspergillus flavus* تحت شرایط ویژه، در طول مدت تشکیل میوه، در مرحله برداشت، حمل و نقل و انبارداری ممکن است تولید شود. عامل کلیدی در بروز آلودگی پسته به آفلاتوکسین، قرار گرفتن مغز پسته در معرض آلودگی قارچی در باغ است. این وضعیت با تشکیل پسته‌های زودخندان و آسیب‌های مکانیکی ناشی از عوامل زنده و غیرزنده روی می‌دهد. دما و رطوبت نسبی محیط و میزان رطوبت مغز پسته طی مراحل مختلف تولید و فرآوری پسته، در بروز و اشاعه آلودگی قارچی و افزایش تولید آفلاتوکسین نقش به‌سزایی دارند. مهار عوامل یادشده با روش‌های مختلف زراعی، مکانیکی، فیزیکی و بیولوژیک امکان‌پذیر است. احداث اصولی باغ و رعایت فواصل کاشت، یکنواختی ارقام و در مراحل بعدی، هرس، آبیاری صحیح و اصولی، تغذیه مناسب، برداشت به موقع، فرآوری و انبارداری صحیح می‌تواند تولید محصولی سالم، بازارپسند و ارزشمند را تضمین نماید. مهارزیستی با استفاده از سویه‌های غیرتوکسین‌زای *A. flavus* و مخمرها نیز راهبردی موفق در کاهش آفلاتوکسین پسته بوده است.

واژه‌های کلیدی: *Aspergillus flavus*، پسته ، زهرابه‌قارچی

مقدمه

سالانه ۲۰ درصد از محصولات غذایی تولید شده در دنیا توسط سموم قارچی یا میکوتوکسین‌ها آلوده می‌شوند که آلودگی به آفلاتوکسین‌ها در این بین سهم بیشتری دارند. خسارت ناشی از تخریب مواد غذایی و محصولات کشاورزی توسط این توکسین بیش از ۱۰۰ میلیون دلار در سال برآورد شده است (Ehrlich *et al*. 2003). پسته با تولیدی معادل ۲۰۰۰۰۰ تن با ارزش بالای صادراتی، پس از نفت مهم‌ترین منبع درآمد ارزی کشور است و آلودگی آن به آفلاتوکسین از سال ۱۳۵۰ چالش اصلی صادرات آن بوده است (Danesh *et al.* 1979). روش‌های مختلفی جهت مدیریت آلودگی محصولات مختلف به آسپرژیلوس و یا آفلاتوکسین مانند راهکارهای زراعی، مکانیکی، فیزیکی و بیولوژیک توصیه شده است، که هرکدام بسته به مکان، زمان، نوع محصول، قابلیت کاربردی بودن و کارایی، معایب و محاسن خاص خود را دارند (Barkai-Golan and Paster 2008, Moradi and Hokmabadi 2011). محدودیت‌های بهداشتی و قوانین و مقرارت بین المللی مانع کاربرد بسیاری از روش‌های متداول در مورد پسته شده است (Brans 2011) .

۱-ویژگی‌های قارچ‌های مولد آفلاتوکسین

بیش از ۱۳ گونه *Aspergillus* قادر به تولید آفلاتوکسین‌های B_1، B_2، G_1 و G_2 هستند. مهم‌ترین آن‌ها *Aspergillus flavus* Link است (Ito *et al*. 2001). این گونه با شرایط دشوار محیطی به خوبی خود را وفق داده و به همین لحاظ، پراکندگی جهانی داشته و از سایر گونه‌ها اهمیت بیشتری دارد. این قارچ قسمت عمده چرخه زندگی خود را در خاک و مواد آلی گیاهی و جانوری به صورت گندرو طی می‌کند. میسلیوم، ساختار اصلی قارچ در خاک هستند و بقای طولانی مدت آن با تولید سختینه امکان‌پذیر می‌شود (رحیمی‌زاده و صدروی ۱۳۹۵). این قارچ علاوه بر آفلاتوکسین، ۱۴ نوع میکوتوکسین دیگر نیز می‌تواند تولید کند (Amaike and Keller 2011). بیوسنتز آفلاتوکسین تحت شرایط محیطی مختلفی شامل نور، دما، اسیدیته (pH)، منبع نیتروژن، منبع کربن و فلزات قرار دارد. درک ارتباط این عامل‌ها با بیوسنتز آفلاتوکسین به عنوان یک امر مهم در تعیین نقش آفلاتوکسین در اکولوژی قارچ حیاتی است. این امر می‌تواند به شناسایی مکان‌های هدف برای کنترل تولید آفلاتوکسین کمک کند. در میان عامل‌های محیطی، نور در تنظیم بیان ژنهای بیوسنتز آفلاتوکسین و تشکیل ساختارهای مقاوم مانند سختینه نقش دارد (Mirabolfathy *et al*. 2004) . شرایط اسیدی برای تولید آفلاتوکسین مطلوب‌تر از شرایط قلیایی است و رونوشت‌های دسته ژنی آفلاتوکسین در شرایط قلیایی نسبت به شرایط اسیدی تحت تنظیم منفی است. فلزات به ویژه فلز روی از جمله عامل‌های مهم و ضروری برای تولید آفلاتوکسین هستند (Keller *et al*. 1997). مخلوطی از عناصر مس، آهن و روی باعث افزایش بیان ژن و تولید آفلاتوکسین می‌شوند. دمای بهینه تولید آفلاتوکسین مابین ۲۸ تا ۳۰ $^{\circ}C$ است و زمانی که دما به دمای بهینه رشد قارچ (۳۷ $^{\circ}C$) نزدیک می‌شود، تولید آفلاتوکسین کاهش می‌یابد. این اتفاق در دماهای پایین‌تر از ۱۸ نیز می‌افتد (Cuero *et al*. 2003) مطالعات نشان می‌دهد وقتی دما از دمای بهینه رشد قارچ بالاتر یا پایین‌تر می‌رود، تولید آفلاتوکسین به صورت خطی کاهش می‌یابد. این وضعیت به دلیل کاهش رونویسی و بیان برخی ژن‌های تنظیمی مانند *afl*R است (Liu and Chu 1998).

۲- نحوه آلودگی پسته به گونه‌های *Aspergillus* و آفلاتوکسین

براساس تحقیقات انجام شده، هاگ قارچ‌های مولد آفلاتوکسین به صورت خاک‌زاد و هوازاد در خاک، فضای باغ، اطراف محل فرآوری و انبار پسته استقرار دارند، لذا آلوده شدن پسته به *Aspergillus* و تولید آفلاتوکسین توسط آن در وهله اول قبل از برداشت و تحت شرایط باغی است (Moradi *et al*. 2010). پوست سبز در حالت طبیعی به عنوان مانعی فیزیکی، مغز پسته را در برابر عوامل خارجی به ویژه قارچ آسپرژیلوس، محافظت می‌نماید، ولی تحت تأثیر عوامل مختلف این پوست سبز ممکن است ترک خورده و مغز را در معرض هوا قرار داده، منجر به آلودگی و تولید آفلاتوکسین گردد. ترک خوردگی میوه پسته، تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند تنش آبیاری، رقم، زمان برداشت، آسیب پرندگان، بافت و ساختمان خاک، چگونگی تعادل عناصر غذایی در خاک و برخی عوامل دیگر است (Moradi and Hokmabadi 2011). وجود پسته‌های ترک خورده، تأخیر در زمان برداشت و یا هرگونه آسیبی که باعث استقرار هاگ موجود در هوا روی مغز گردد پایه‌گذار آلودگی‌های اولیه است. فرآوری، انبارداری و حمل و نقل نامناسب می‌تواند منجر به تشدید رشد قارچ و افزایش تولید آفلاتوکسین شود. تحقیقات انجام شده در خصوص اکولوژی گونه‌های آسپرژیلوس در باغ‌های پسته نشان داده است که جمعیت گونه‌های آسپرژیلوس در طول سال با عواملی مانند میزان پسته‌هایی که روی زمین ریخته شده، گل‌آذین نر درختان پسته، بقایای گیاهی همچون نخاله‌های حاصل از فرآوری میوه پسته (شکل 1J)، دور آبیاری، عملیات باغبانی و کودهای حیوانی در ارتباط است (مرادی و همکاران ۱۳۸۳). وجود آفلاتوکسین در یک توده پسته با تعداد میوه‌های پسته ترک‌خورده، میزان آلودگی به آفات، خصوصیات ظاهری و آسیب دیدگی پوست استخوانی در ارتباط است (Ghahdarijani and Javanshah 2006). از جمله عواملی که در توسعه آلودگی قارچی بعد از برداشت نقش دارد درجه حرارت، آلودگی به آفات، جوندگان، برهمکنش میکروبی، ترکیب گازهای جوی انبار، رطوبت محیط و رطوبت میوه پسته در زمان فرآوری، انبارداری و حمل و نقل هستند (مرادی و همکاران ۱۳۹۴).

۳-مهار آفلاتوکسین

۳-۱- هنگام احداث باغ

تراکم بهینه درختان در باغ: تراکم درخت در واحد سطح روی نفوذ نور، تهویه مناسب، رطوبت نسبی محیط و ترک خوردگی میوه پسته تأثیر دارد. فاصله ۴-۳ متر بین درختان و ۷-۶ متر بین ردیف‌ها بسته به نوع خاک و رقم توصیه شده است (شکل ۱A).

نوع رقم: ارقام پسته از نظر زمان و یکنواختی رسیدن، ریزش میوه‌های رسیده قبل از برداشت و درصد ترک خوردگی با هم تفاوت دارند. در مناطقی که بارندگی اواخر تابستان دارند، بهتر است ارقام زودرس مانند فندقی و در مناطق دارای تابستان‌های خنک به دلیل طول کشیدن رسیدن میوه تا اواخر مهر و احتمال بارندگی در این زمان، لازم است ارقام دیررس کاشته شود. از کاشت مخلوط ارقام پسته خودداری شود چون در ارقام زودرس، طول دوره رشد نسبت به ارقام دیررس کوتاه‌تر است و تأخیر در زمان برداشت باعث افزایش آلودگی می‌گردد. ارقام از نظر عارضه زودخندانی نیز با یکدیگر متفاوتند. پسته زودخندان حداقل ۱۵ روز زودتر از موعد اصلی خندان شده و شیار خندانی پوست سبز در امتداد شیار خندانی پوست استخوانی است (شکل ۱B). این نوع پسته به دلیل مدت زمان زیادی که مغز آن در معرض هاگ‌های قارچ است، کانون آلودگی به شمار می‌رود. نوع دیگری از این پسته‌های نامطلوب نیز وجود دارد که دچار شکاف خوردگی نامنظم هستند. در این نوع، ترک خوردگی پوست سبز در امتداد شیار خندانی پوست استخوانی نیست (شکل ۱C). انواع خسارت‌های مکانیکی که توسط آفات میوه‌خوار و پرندگان به پسته‌های در حال تشکیل وارد می‌شود نیز می‌تواند در ایجاد کانون‌های آلودگی نقش مهمی داشته باشد (شکل ۱D). ارقام جوادآقایی و سیف الدینی بیشترین و رقم قزوینی کمترین زودخندانی را دارد. زمان ظهور پسته‌های زود خندان از سالی به سال دیگر و از منطقه‌ای به منطقه دیگر تفاوت زیادی دارد و در بین سه رقم تجارتی پسته اوحدی، کله قوچی و احمد آقایی، در رقم کله قوچی پسته‌های زودخندان، زودتر تشکیل می‌شوند. بیشترین درصد تشکیل پسته‌های زودخندان در فاصله زمانی ۱۵ روز قبل از برداشت اتفاق می‌افتد. حساسیت ارقام پسته نسبت به قارچ و میزان تولید آفلاتوکسین روی آنها نیز متفاوت است. ارقام احمدآقایی و اوحدی بیشترین و اکبری و کله قوچی کمترین حساسیت را به قارچ دارند. از طرفی ارقام شاه‌پسند و عباسعلی دارای بیشترین و ارقام کل‌خندان و مغزی دارای کمترین مقدار آفلاتوکسین B_1 بودند. پایه‌های مختلف نیز بر درصد زودخندانی تأثیر

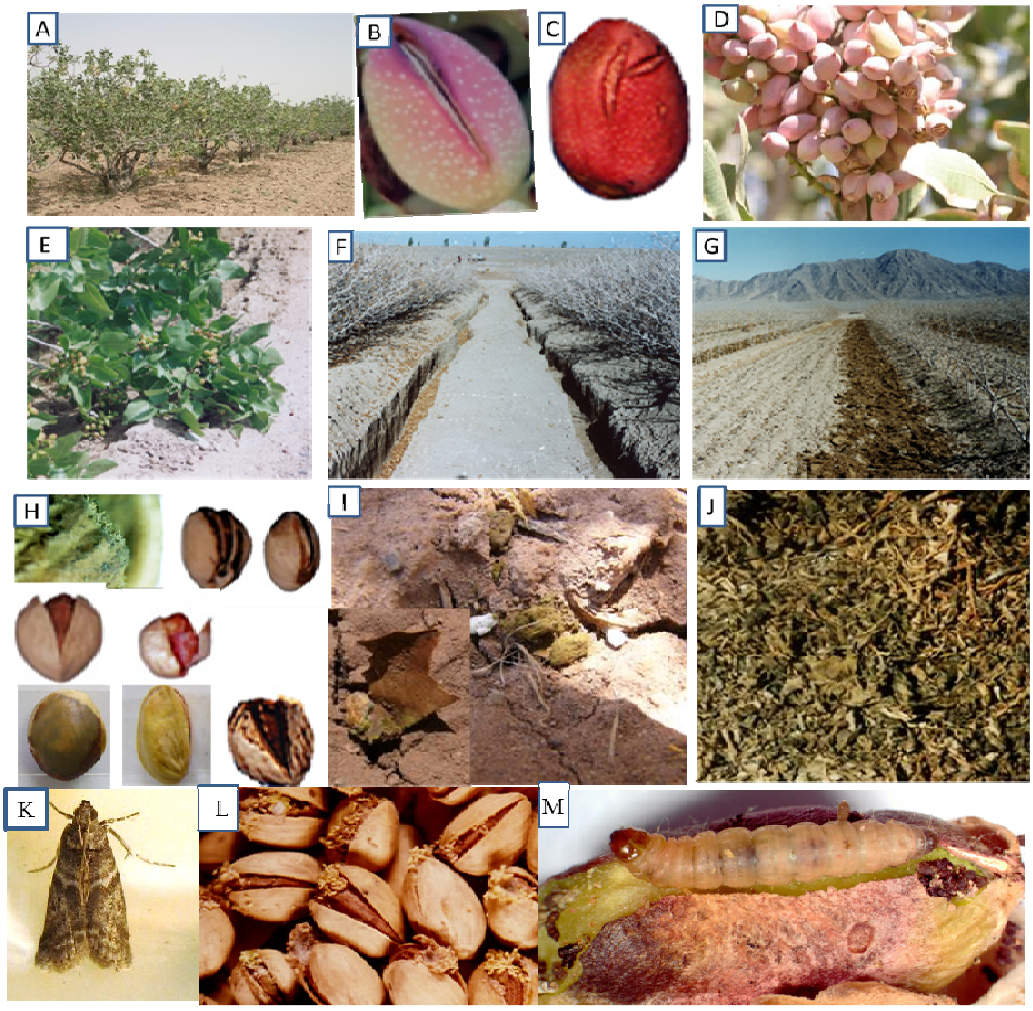
دارند به طوری که پایه‌های بنه و آتلانتیکا دارای بیشترین درصد و پایه اهلی دارای کمترین درصد زودخندانی هستند (Moradi and Hokmabadi 2011).

۳-۲- داشت

هرس: هرس فرم و باردهی از اصول اولیه مورد توجه در پرورش درختان پسته است لذا ایجاد درختان تک‌تنه و با ارتفاع تنه ۱۲۰-۱۰۰ سانتیمتر و به شکل جامی باز ضرورت دارد. به منظور کاهش آلودگی میوه در باغ از طریق عدم تماس شاخه‌های درخت با زمین و آب آبیاری، هر ساله بایستی شاخه‌های خشک، پاجوش‌ها و شاخه‌هایی که رو به پایین و یا به طرف مرکز درخت رشد می‌کنند حذف شوند (شکل 1E) (مرادی و همکاران ۱۳۸۳).

آبیاری: تنش آبیاری در اواخر بهار می‌تواند موجب افزایش زودخندانی شود. نوع آبیاری در این مورد نقشی ندارد. قطع یک نوبت آبیاری در دورهای آبیاری طولانی مدت (۴۵ روزه) نسبت به کوتاه مدت (۲۵ روزه) نیز موجب دوبرابر شدن زودخندانی می‌شود. لذا بایستی اولاً دور آبیاری براساس بافت خاک، کیفیت آب، شوری خاک، سن درخت و روش آبیاری انتخاب گردد، ثانیاً آبیاری به طور منظم انجام شده و از قطع آبیاری در اواخر فصل بهار خودداری شود و ثالثاً آبیاری براساس نیاز آبی گیاه تنظیم شود. در صورتی که به دلیل کمبود آب امکان آبیاری براساس نیاز آبی نیست، بهتر است آبیاری به طور یکنواخت و با دور آبیاری منظم در طول فصل انجام شود (صداقتی ۱۳۸۴).

تغذیه: عدم تعادل غذایی در ترک‌خوردگی پوست سبز میوه نقش مهمی دارد. تجزیه کامل پوست سبز پسته‌های ترک‌خورده و سالم حاکی از پایین بودن عناصر پتاسیم و آهن و بالا بودن فسفر و روی در پسته‌های ترک خورده بوده است. عدم استفاده از کودهای آلی مثل کود مرغی نیز موجب افزایش درصد زودخندانی و ترک‌خوردگی نامنظم روی پوست سبز می‌شود. در این خصوص چالکود (شکل F ۱) نسبت به پخش سطحی کود (شکل 1G) مناسب‌تر است (مرادی و همکاران ۱۳۸۳). جمعیت گونه‌های مختلف قارچ آسپرژیلوس عموماً با مقدار بقایای گیاهی، ضایعات حاصله از فرآوری میوه پسته (شکل 1J) و کودهای حیوانی در ارتباط است و در پاییز و زمستان افزایش می‌یابد. از این رو ضمن رعایت بهداشت باغ، در صورتی که استفاده از این مواد برای اصلاح بافت خاک یا



شکل ۱– A: باغ پسته با فاصله کشت مناسب، B: پسته زودخندان، C: پسته با ترک خوردگی نامنظم، D: پسته‌های آسیب دیده از آفات میوه‌خوار، E: شاخه‌های هرس نشده در تماس با خاک، F: استفاده صحیح از کودهای حیوانی به شیوه چالکود، G: کوددهی نادرست با پخش سطحی، H: انواع پسته‌های غیرطبیعی و لکه‌دار در مقایسه به پسته طبیعی (ردیف وسط، چپ)، I: پخش دانه گندم کلنیزه شده با جدایه غیرتوکسین‌زا در سطح خاک، J: نخاله‌ها یا ضایعات حاصل از فرآوری میوه پسته آلوده شده به قارچ *Aspergillus* در باغ، K-M : لارو، حشره کامل و خسارت شب پره خرنوب روی میوه پسته (منبع عکس: مهدی بصیرت، پژوهشکده پسته)

Figure1. A: Pistachio orchard with proper tree spacing, B: Early splitting pistachios, C: Cracking of Pistachio nuts, D: pistachio damage by pests and birds, E: Branches in contact with soil surface, F: Application of animal manures in fertilizer channels, G: Incorrect application of animal manure in soil surface, H: Aflatoxin contaminated pistachios, I: Application of atoxigenic isolate of *Aspergillus flavus* in the pistachio orchards using colonized wheat seeds, J: The pistachio rubbish contaminated with *Aspergillus* species, K-M: Larvae, adult and damage of carb moth on pistachios fruit (source: Mehdi Basirat, Pistachio Research Center).

تغذیه در نظر گرفته شود، بهتر است به‌صورت چالکود باشند و از پخش سطحی آنها خودداری شود (مرادی ۱۳۸۲).

۳-۳- برداشت

با توجه به نوع رقم، بافت خاک و شرایط آب و هوایی منطقه توصیه می‌شود محصول هر رقم در زمان مناسب برداشت گردد و از نگهداری محصول روی درخت به دلیل افزایش وزن میوه، افزایش درصد خندانی، افزایش رشد مغز، حجم زیاد محصول یا سطح باغ و کمبود امکانات فرآوری جلوگیری شود. زمان مناسب برداشت موقعی است که بین ۷۰ تا ۷۵ درصد میوه‌های هر درخت دارای نشانه‌های ظاهری رسیدگی نظیر تغییر رنگ پوست نرم‌رویی و سهولت پوست‌دهی هستند. تحقیقات نشان داده با نزدیک شدن به زمان برداشت تراکم جمعیت قارچ‌های مولد آفلاتوکسین در فضای باغ‌های پسته افزایش می‌یابد و به‌نظر می‌رسد یک تطابق بین افزایش تراکم هاگ این قارچ‌ها و دوره رشد و توسعه میوه پسته وجود داشته باشد (مرادی ۱۳۸۲). تأخیر در برداشت منجر به افزایش آلودگی به آفلاتوکسین می‌شود (فانی و همکاران ۱۳۹۲).

۳-۴- فرآوری و انبارداری

نتایج حاصل از بررسی آلودگی ترمینال‌های مختلف به قارچ‌های *A. flavus* و*Aspergillus niger* Tiegh نشان می‌دهد که آلودگی تحت تأثیر عوامل مختلفی است. نوع ترمینال (سنتی یا مکانیزه)، قسمت‌های مختلف ترمینال و نوع پسته ورودی از جمله این عوامل هستند. فراوانی پسته‌های ترک‌خورده (زودخندان و ترک‌خورده نامنظم با پوست سبز خشک و چروکیده)، پسته‌های روی زمین ریخته شده و پسته‌های در تماس با سطح زمین در آلودگی توده پسته ورودی به ترمینال نقش مهمی دارد (مرادی و میرابوالفتحی ۱۳۸۶).

بدیهی است ترمینال‌های مکانیزه و نیمه مکانیزه به دلیل آلودگی‌های پایین‌تر پسته خروجی به میکروارگانیسم‌ها به‌ویژه قارچ‌های مولد آفلاتوکسین، نسبت به ترمینال‌های سنتی برتری دارند (مرادی و میرابوالفتحی ۱۳۸۶، Moradi *et al*. 2010). تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد گرچه شرایط برای آلودگی و تولید آفلاتوکسین در باغ مهیا است ولی شرایط فرآوری در ترمینال‌های مکانیزه و نیمه مکانیزه و همچنین انبارداری برای تولید آفلاتوکسین

مناسب نیست. با این حال چنانچه در مراحل بعدی نگهداری یا حمل و نقل، شرایط مناسب باشد با توجه به آلودگی خفته به قارچ‌های مولد آفلاتوکسین، آلودگی می‌تواند ایجاد گردد (مرادی و همکاران ۱۳۹۴). بین لکه‌دارشدن پوست استخوانی و آلودگی آن‌ها به قارچ‌های *Aspergillus* ارتباط وجود دارد و خصوصیات ظاهری پوست استخوانی (شکل 1H) به‌ویژه پسته‌های لکه‌دار، بدشکل، زرد رنگ، ریز و روآبی (با وزن حجمی کم در مقایسه با پسته‌های زیرآبی) می‌تواند به‌عنوان شاخص مهم آلودگی به آفلاتوکسین جهت جداسازی از پسته‌های سالم استفاده شود (درگاهی و همکاران ۱۳۹۴). این معیار در مورد پسته‌های آفت‌زده نیز صادق است و میوه‌های آلوده به شب پره خرنوب (شکل‌های K-M 1) غالباً آلودگی بالایی به آفلاتوکسین دارد (فانی و همکاران ۱۳۹۳).

۳-۵- مهارزیستی آفلاتوکسین

یکی از روش‌های مؤثر و کاربردی در زمینه کاهش خطر آلودگی محصولات کشاورزی و یا فراورده‌های آن‌ها، استفاده از عوامل مهارزیستی مانند سویه‌های غیرتوکسین‌زای *A. flavus*، مخمرها، باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها است. مهارزیستی با به‌کارگیری سویه‌های غیرتوکسین‌زای *A. flavus* بیشترین موفقیت مزرعه‌ای را در کاهش آلودگی‌های آفلاتوکسینی در پنبه، بادام‌زمینی، ذرت و پسته از خود نشان داده است. سویه‌های غیرتوکسین‌زایی که در خاک استفاده شدند کنج اکولوژیکی سویه‌های توکسین‌زا را تسخیر می‌کنند؛ بنابراین، این سویه‌ها توانایی رقابت و جایگزینی با سویه‌های توکسین‌زا را داشته و سطح آفلاتوکسین را بطور قابل توجهی کاهش می‌دهند (Amike and Keller 2011). در این روش یکبار در سال در اواخر بهار یا اوایل تابستان دانه‌های غله‌ای که با سویه‌های غیرتوکسین‌زا مایه‌زنی شده‌اند در باغ پخش می‌شوند (شکل 1I). بعد از آبیاری، قارچ رشد و هاگ‌زایی کرده و جمعیت آن غالب خواهد شد (Doster 2014). با توجه به پژوهشهای انجام گرفته از این روش در باغهای پسته کشور نیز می‌توان استفاده کرد (فانی و همکاران ۱۳۹۲، Fani *et al*. 2014).

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

آلودگی میوه پسته به انواع آفلاتوکسین، که اغلب توسط قارچ خاکزاد و هوازاد *Aspergillus flavus* به وجود می‌آید به عنوان یک چالش بهداشتی، تحت شرایط خاص، در طول مدت تشکیل میوه، در مرحله برداشت، حمل و

نقل و انبارداری ایجاد میگردد. از عامل‌های مهم در این زمینه پسته‌های ترک خورده و آسیب‌های مکانیکی ناشی از از عوامل زنده و غیرزنده است که تحت تأثیر عوامل مدیریتی، آبیاری، تغذیه و زمان برداشت است. مدیریت آلودگی با روش‌های مختلف زراعی، مکانیکی، فیزیکی و زیستی امکان‌پذیر است. مهارزیستی آفلاتوکسین با استفاده از جدایه‌های غیرتوکسین‌زای *A. flavus* و مخمرها نیز به عنوان راهبردی مؤثر در این زمینه پیشنهاد می‌شود.

منابع References

۱. درگاهی ر.، مرادی م. و فانی س. ر. ۱۳۹۴. ارزیابی میزان آفلاتوکسین B_1 در بخش‌های مختلف میوه پسته و تأثیر مراحل فرآوری بر مقدار آن. *بهداشت مواد غذایی* ۴: ۳۱-۲۱.

۲. رحیمی‌زاده م. و صدروی م. ۱۳۹۵. معرفی هشت گونه‌ی مفید Aspergillus ، *دانش بیماری‌شناسی گیاهی* ۶: ۳۲-۲۲.

۳. صداقتی، ن. ۱۳۸۴. اثر زمان‌های مختلف آبیاری بر زودخندانی پسته. بخشی از پروژه بررسی راهکارهای عملی جهت حذف یا کاهش آفلاتوکسین. موسسه تحقیقات پسته کشور. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات پسته کشور، ۲۲ ص.

۴. فانی س. ر.، جوانشاه ا. و مرادی م. ۱۳۹۲. بررسی شیوع آفلاتوکسین در نمونه‌های پسته فرآوری شده شهرستان رفسنجان طی سال‌های ۹۰ تا ۹۱ و ارتباط آن با زمان برداشت، *طلوع بهداشت* ۱۲: ۱۸۹-۱۷۵.

۵. فانی س. ر.، مرادی م.، تاج‌آبادی‌پور ع.، درگاهی ر. و میرابوالفتحی م. ۱۳۹۳، نقش زودخندانی در آلودگی میوه پسته به گونه‌های *Aspergillus* و آفلاتوکسین در استان کرمان. *علوم غذایی و تغذیه* ۱۱: ۱۰۵-۹۷.

۶. فانی س. ر.، مرادی م.، زمانی‌زاده ح. ر.، میرابوالفتحی م. و پروبست ک. ۱۳۹۲. پراکنش سویه‌های غیرتوکسین‌زای قارچ *Aspergillus flavus* در مناطق پسته‌کاری ایران. *آفات و بیماری‌های گیاهی* ۸۱: ۱۹۰-۱۷۹.

۷. مرادی م. ۱۳۸۲. بررسی تراکم قارچ‌های مولد آفلاتوکسین در فرآیند تولید پسته به منظور تعیین نقطه شروع آلودگی و کنترل آن. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات پسته کشور، شماره ۸۲/۹۹۹، ۴۷ ص.

۸. مرادی م. و میرابوالفتحی م. ۱۳۸۶. بررسی تراکم جمعیت قارچ‌های گروه *Aspergillus flavus* و *Aspergillus niger* در ترمینال‌های فرآوری پسته استان کرمان. *پژوهش و سازندگی* ۲۰: ۱۱۰-۱۰۴.

۹. مرادی م.، ارشاد ج.، میرابوالفتحی م. و پناهی ب. ۱۳۸۳. نقش بقایای گیاهی، خاک و کودهای حیوانی روی تراکم جمعیت قارچ‌های گروه *Aspergillus flavus* و *Aspergillus niger* در باغ‌های پسته استان کرمان. *بیماری‌های گیاهی* ۴۰: ۲۳۴-۲۲۱.

۱۰. مرادی م.، حکم‌آبادی ح. و فانی س. م. ۱۳۹۴. بررسی عوامل مؤثر بر رشد قارچی و تولید آفلاتوکسین در انبارهای پسته استان کرمان. *علوم غذایی و تغذیه* ۱۲: ۹۲-۸۳.

۱۱. مرادی م.، فانی س. ر. و معصومی ح. ۱۳۹۳. نوسان جمعیت‌های متعلق به بخش‌های فلاوی و نیگری قارچ *Aspergillus* روی میوه پسته در استان کرمان. *پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی* ۳: ۹۱-۷۹.

12. Amaike S. and Keller N. P. 2011. *Aspergillus flavus*. *Annual Review of Phytopathology* 49:107-133.
13. Barkai-Golan R. and Paster N. 2008. Mycotoxins in fruits and vegetables. Burlington, Academic Press. 160P.
14. Brans H. 2011. Food and Agricultural Import Regulations and Standards Narrative. USDA Foreign Agricultural Service, Global Agriculture Information, 42p.
15. Cuero R., Ouellet T., Yu J. and Mogongwa N. 2003. Metal ion enhancement of fungal growth, gene expression and aflatoxin synthesis in *Aspergillus flavus*: RT-PCR characterization. *Journal of Applied Microbiology* 94:953-961.
16. Danesh D., Mojtahedi H., Barnett R. and Cambell A. 1979. Correlation between climatic data and aflatoxin contamination of Iranian pistachio nuts. *Phytophthology* 69:715-716.
17. Doster M. A., Cotty P. J. and Michailides T. J. 2014. Evaluation of the atoxigenic *Aspergillus flavus* strain AF36 in pistachio orchards. *Plant Disease* 98:948-956.
18. Ehrlich K. C., Montalbano V. G. and Cotty P. J. 2003. Sequence comparison of *aflR* from different *Aspergillus* species provides evidence for variability in regulation of aflatoxin production. *Fungal Genetics and Biology* 38:63-74.
19. Fani S. R., Moradi M., Probst C., Zamanizadeh H. R., Mirabolfathy M., Haidukowski M. and Logrieco A. F. 2014. A critical evaluation of cultural methods for the identification of atoxigenic

Aspergillus flavus isolates for aflatoxin mitigation in pistachio orchards of Iran. *European Journal of Plant Pathology* 140:631-642.

20. Ghahdarijani M. M. and Javanshah A. 2006. Distribution of aflatoxin in processed pistachio nut terminals. *Acta Horticulture* (ISHS) 726:431-436.
21. Ito Y., Peterson S. W., Wicklow D. T. and Goto T. 2001. *Aspergillus pseudotamarii*, a new aflatoxin producing species in *Aspergillus* section *Flavi*. *Mycological Research* 105:233-239.
22. Keller N. P., Nesbitt C., Sarr B., Phillips T. D. and Burow G. B. 1997. pH regulation of sterigmatocystin and aflatoxin biosynthesis in *Aspergillus* spp. *Phytopathology* 87:643-648.
23. Liu B. H. and Chu F. S. 1998. Regulation of *afl*R and its product, *Afl*R, associated with aflatoxin biosynthesis. *Applied and Environmental Microbiology* 64:3718-3723.
24. Mirabolfathy M., Ghadarijani M. M. and Waliyar F. 2005. 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.
25. Moradi M. and Hokmabadi H. 2011. Control of Mycotoxin Bioactives in Nuts: Farm to Fork. Pp. 253-273. *In* Ö. Tokusoglu (ed), Fruit and Cereal Bioactives Sources, Chemistry, and Applications CRC Press.
26. Moradi M., Hokmabadi H. and Mirabolfathy M. 2010. Density fluctuations of two major Aspergillus species airborne spores in pistachio orchards growing regions of Iran. *International Journal of Nuts and Related Science* 1:60-70
27. Rahimizadeh M. and Sadravi M. 2017. Eight useful *Aspergillus* species. *Plant Pathology Science* 6:22-32. (In Persian with English Abstract).