



بررسی وضعیت آلودگی به آفلاتوکسین و نوع و مقدار مانده آفت کش ها در مغز

پسته

مهدی محمدی مقدم^۱، آنا عبدالشاهی^۲، علیرضا برجسته^۳، مهدی بصیرت^۴، معصومه حق دل^۴، سعید مهرجو^۵

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران

۲- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و علوم غذایی دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران

۳- بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران

۴- پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران

۵- بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	تحقیق حاضر با هدف ارزیابی نوع و میزان آفت کش ها در نمونه های پسته باغ های شهرستان دامغان به عنوان مهمترین منطقه تولید پسته استان سمنان انجام شد. بدین منظور، از چهار منطقه عمده تولید پسته دامغان نمونه هایی از ترمینالها و کارگاه های فرآوری پسته تهیه شده و آنالیز نوع و میزان آفت کش های باقیمانده با روش کروماتوگرافی گازی-اسپکترومتر جرمی GC-MS و LC/MS انجام شد. همچنین، به منظور مطالعه آلودگی احتمالی پسته های نمونه برداری شده به آفلاتوکسین، آلودگی نمونه ها به آفلاتوکسین به روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق حاکی از وجود باقیمانده ۱۱ نوع آفت کش در نمونه های پسته بوده که در بین آفت کش های ردیابی شده، میزان دو آفت کش استامی پراید و ایمیداکلوپراید و MRL (حداکثر باقیمانده مجاز) آن ها به ترتیب به میزان ۰/۱۳۵۹ mg/kg (MRL 0.05 mg/kg و ۰/۳۴۴۸ mg/kg (MRL 0.07 mg/kg تعیین شد که بالاتر از حد استاندارد اتحادیه اروپا بود. به طور کلی، شاخص MRL ۹ نمونه (۱۷/۳٪) آفت کش ها بالا و در بقیه نمونه ها، همه آفت کش ها کمتر از میزان شاخص MRLs بودند. به علاوه، با ارزیابی مقدار آفلاتوکسین در نمونه های پسته، مشخص شد که از ۵۲ نمونه مورد آزمایش، ۹ نمونه به آفلاتوکسین آلودگی داشتند که آلودگی ۸ نمونه کمتر از حد مجاز و آلودگی یک نمونه بالاتر از حد مجاز بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۸	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۴/۰۸/۰۶	
کلید واژه ها: پسته، دامغان، آفت کش ها، کروماتوگرافی گازی، آفلاتوکسین، کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا	



Study on Aflatoxin Contamination and Determination of the Type and Level of Pesticide Residues in Pistachio Nuts

Mehdi Mohammadi-Moghadam^{1✉}, Anna Abdolshahi², Alireza Barjasteh³, Masoumeh Haghdel⁴, Mehdi Basirat⁴, Saeed Mehrjou⁵

1. Crop and Horticultural Sciences Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Semnan Province (Shahrood), AREEO, Shahrood, Iran.
2. Department of Food Sciences and Industry, School of Nutrition, Food Sciences, Management and Medical Information, Semnan University of Medical Sciences and Health Services, Semnan, Iran
3. Department of Plant Protection, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Semnan Province (Shahrood), AREEO, Shahrood, Iran.
4. Pistachio Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran
5. Economic, Social and Extension Research Department, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

Article Info	Abstract
Article type: Research Article	This study was conducted to evaluate the type and concentration of pesticide residues in pistachio samples collected from orchards in Damghan County, the main pistachio-producing area of Semnan Province, Iran. Pistachio samples were obtained from processing terminals located in four major pistachio-growing regions of Damghan. The type and level of pesticide residues were analyzed using gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) and liquid chromatography–mass spectrometry (LC–MS/MS). In addition, to assess possible contamination with aflatoxins, the samples were analyzed by high-performance liquid chromatography (HPLC). The results revealed the presence of residues of 11 pesticides in the analyzed pistachio samples. Among the detected pesticides, the concentrations of acetamiprid (0.1359 mg/kg; MRL = 0.05 mg/kg) and imidacloprid (0.3448 mg/kg; MRL = 0.07 mg/kg) exceeded the maximum residue limits (MRLs) established by the European Union. Overall, 9 samples (17.3%) contained pesticide residues above the MRLs, while the remaining samples were below the permissible levels. Furthermore, aflatoxin analysis showed that 9 out of 52 tested samples were contaminated with aflatoxins, among which 8 samples were below and 1 sample exceeded the permissible limit.
Article history:	
Received: 2025/08/27	
Accepted: 2025/09/09	
Available online: 2025/10/28	
Keywords: Pistachio, Damghan, Pesticides, GC–MS, Aflatoxin, HPLC	

مقدمه

آنالیز باقیمانده آفت‌کش در مواد غذایی و سایر کالاهای محیط زیستی یک نیاز ضروری برای مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان، ناظران مواد غذایی و مراجع ذی‌صلاح تعیین استانداردهای ایمنی مواد غذایی است. ایران یکی از بزرگترین تولیدکنندگان و صادرکنندگان پسته در جهان است. همچنین، پسته یکی از مهمترین مغزهای درختی در سبد غذایی ایرانی‌هاست. آفت‌کش‌ها، ترکیبات شیمیایی هستند که برای ممانعت، نابودی و یا کاهش آفات در محصولات کشاورزی استفاده می‌شوند. طغیان آفات پسته، تنوع سموم آفت‌کش و مقاومت آفات کشاورزی به سموم شیمیایی، منجر به استفاده بی‌رویه باغداران از آفت‌کش‌ها جهت تولید پسته شده است. در حال حاضر آفت‌کش‌هایی از قبیل دارتون، اندوسولفان، تیومتوکسام، استامی‌پراید، اتیون، دیازینون، ارگانوکلرین و مورد استفاده قرار می‌گیرند. سموم آفت‌کش با نام‌های تجاری مختلف از جمله آکتارا، کنفیدور، موسپیلان و غیره که ترکیبات متفاوتی دارند در سطح عرضه وجود دارند، اکثر باغداران با اطلاعات ناکافی و بدون توجه به ترکیب آفت‌کش و زمان مناسب مصرف و نیز دوره تجزیه آفت‌کش، آن‌ها را مورد استفاده قرار می‌دهند. امکانات آزمایشگاهی اندازه‌گیری مقدار و آنالیز نوع آفت‌کش در کشور محدود است و پایش باقیمانده آفت‌کش نیاز به هزینه زیاد دارد و این امر توسط مدیریت جهاد کشاورزی، سالانه در مناطق پسته خیز، با تعداد نمونه اندک انجام می‌گیرد. بنابراین، آمار و ارقام معتبر و قابل استنادی از باقیمانده آفت‌کش در پسته تولیدی ایران و نیز استان سمنان در دسترس نمی‌باشد.

عدم رعایت فاصله زمانی مناسب میان مصرف آفت‌کش‌ها تا عرضه پسته به بازار توسط تولیدکنندگان پسته و نیز سایر محصولات کشاورزی سبب شده که وجود باقیمانده آفت‌کش‌ها در محصولات کشاورزی در سطح عرضه یکی از بحران‌های ایمنی این مواد غذایی در سطح کشور باشد. اداره استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای انواع آفت‌کش‌ها حدود مجاز تعیین کرده است.

استان سمنان از نظر سطح زیر کشت پسته پس از استان‌های کرمان، یزد، خراسان رضوی و فارس قرار دارد. از آنجا که اطلاعات جامعی در زمینه باقیمانده آفت‌کش‌ها و نیز نوع آنها در پسته تولیدی استان سمنان در دسترس نیست. لذا ضروری است که نمونه‌های پسته تولیدی این استان در شهرستان دامغان، که اصلی‌ترین منطقه تولید کننده پسته استان سمنان است، از نظر باقیمانده آفت‌کش مورد بررسی قرار گیرد.

امروز بیش از هر زمان دیگری نیاز به نگاهی جامع و جدید به حوزه کشاورزی با توجه به اهمیت توسعه پایدار، تغییرات اقلیمی و محیط زیست احساس می‌شود (کیومرثی^۱ و همکاران، ۲۰۱۴؛ مهدویان^۲ و همکاران، ۲۰۲۴؛ روسن^۳ و همکاران، ۲۰۲۵). وجود باقیمانده آفت‌کش‌ها در محصولات غذایی همانند وجود پاتوژن‌ها، رنگ‌های غیرمجاز، میکوتوکسین‌ها، آلرژن‌ها جزء عوامل بحرانی و به عنوان مخاطره غذایی (Food Hazard) در تضمین ایمنی مواد غذایی در سراسر جهان مطرح است. سیستم اعلام خطر سریع مواد غذایی (RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed) اروپا سالانه گزارش‌های زیادی از وجود باقیمانده آفت‌کش‌ها در محصولات غذایی که از سطح عرضه در سطح دنیا فراخوانی شده اند (Food recall) ثبت کرده است. برای مثال این سیستم در سال ۲۰۱۶ وجود مانده ایزوفنوفوس متیل (0.05 ppm) در تخمه کدو (از کشور چین)، در سال ۲۰۱۵ مانده پروپاماموکارب (۰/۰۴۸ و ۰/۰۸۷) در نوعی غذا و مانده کاربندازیم (۰/۰۳۱) در تخمه چینی (از کشور چک)، در سال ۲۰۱۴ مانده ایپیرودیون (۰/۰۷) در بادام (از کشور آمریکا)، مانده کلروپیروفس (۰/۰۹) در دانه روغنی (از کشور نیجریه) و مانده مالاتیون (۰/۰۴۹) در تخمه کدو (از کشورهای آلمان، دانمارک و چین) را ثبت کرده است (گوپتا^۴، ۲۰۰۴؛ راسفه^۵، ۲۰۱۶). شکل ۲ گزارش‌های باقیمانده آفت‌کش در مواد غذایی در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ ثبت شده توسط راسفه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشخص است موارد زیادی از وجود آفت‌کش‌های تایید نشده در مواد غذایی ثبت شده است. این امر بیانگر

¹ Kioumars² Mahdavian³ Rosen⁴ Gupta⁵ RASFF

آن است که تولید کنندگان مواد غذایی از آفت‌کش‌های متنوعی برای مبارزه با آفات بدون توجه به تأییدیه‌های قانونی مصرف این ترکیبات استفاده می‌کنند و برای حفظ توسعه پایدار و سلامت محیط زیست، توجه بیشتر به این موضوع بویژه در کشورهای در حال توسعه با اهمیت است.

مصرف آفت‌کش‌ها در جهان در حدود ۲ میلیون تن در سال است که ۲۴٪ آن در آمریکا، ۴۵٪ در اروپا و ۲۵٪ در سایر نقاط جهان مصرف می‌شود. در این میان ۴۷/۵٪ آفت‌کش‌های مورد استفاده علف‌کش، ۲۹/۵٪ حشره‌کش، ۱۷/۵٪ قارچ‌کش و ۵/۵٪ آن سایر موارد مصرف بوده است. یکی از موانع در مسیر مستندسازی و گردآوری اطلاعات جامع در زمینه مصرف آفت‌کش‌ها عدم اطلاعات سیستمیک و قابل اعتماد و در دسترس در زمینه مسمومیت‌ها و بیماری‌های ایجاد شده در اثر مصرف آنهاست است (گوپتا، ۲۰۰۴).

بیش از ۸۰۰ نوع ترکیب آفت‌کش برای کنترل آفات ناخواسته کشاورزی استفاده می‌شود. مطالعات نشان داده برخی از روش‌های فرآوری مواد غذایی از قبیل حرارت دهی (حرارت‌های بالا) و استفاده از ترکیبات نگهدارنده اثر تجزیه کننده بر برخی ترکیبات آفت‌کش دارند اما آنالیز و کنترل باقیمانده آفت‌کش در محصولات کشاورزی که به‌صورت خام یا با فرآوری اندک استفاده می‌شوند بسیار ضروری است (لوپز^۱، ۲۰۰۹).

بطور کلی برای پایش ترکیبات ناخواسته در مواد غذایی از قبیل مایکوتوکسین‌ها، آفت‌کش‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها، هورمون‌های گیاهی و داروهای دامی از آنجا که این ترکیبات به دسته‌های متفاوت مواد شیمیایی تعلق دارند می‌بایست از روش‌هایی استفاده شود که بتوانند طیف وسیعی از ترکیبات را شناسایی کنند. برای جداسازی متداول‌ترین روش استفاده از انواع مختلف کروماتوگرافی شامل کروماتوگرافی لایه نازک (TLC)، کروماتوگرافی مایع با کارکرد عالی (HPLC)، کروماتوگرافی گازی (GC) و الکتروفورز موئینه (CE) است. براساس ماهیت این آلاینده‌ها برای تشخیص و تعیین مقدار آنها استفاده از TLC و GC به همراه اسپکترومتر جرمی (MS) در سال‌های اخیر بسیار استفاده می‌شود (دانزیس^۲ و همکاران، ۲۰۱۶؛ رفیعی^۳ و همکاران، ۲۰۲۳؛ رفیعی و همکاران، ۲۰۲۴).

باقیمانده آفت‌کش‌ها و نیز ترکیبات باقیمانده حاصل از تجزیه آنها در مواد غذایی خطر آفرین محسوب می‌شود، لذا بکارگیری روش‌هایی که امکان کنترل چندین نوع آفت‌کش را در یک آنالیز امکان‌پذیر می‌سازد اساساً اصلی‌ترین استراتژی کاربردی می‌باشند. با استفاده از این روش‌ها می‌توان انواع مختلف آفت‌کش از جمله علف‌کش، قارچ‌کش و حشره‌کش را تشخیص و تعیین مقدار نمود. یکی از متداول‌ترین روش‌های آنالیز چندمانده‌ای^۴، روش کروماتوگرافی گازی - اسپکترومتر جرمی است (لوپز^۱، ۲۰۰۹؛ دانزیس^۵، ۲۰۱۶).

پندی^۶ و همکاران (۲۰۱۰)، در کشور هند میزان آفت‌کش‌های ارگانوکلره (DDT، اندوسولفان و HCH) در پسته، بادام زمینی، گردو، نارگیل و انجیر را با روش کروماتوگرافی گازی - آشکارساز احتباس الکترون (ECD) اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان داد مقادیر HCH در دامنه ۰/۷۰۰ - ۱/۳۲۸ و DDT برابر ND - ۱۴/۰ و برای اندوسولفان برابر ND - ۰۹۱/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در کشور هند استاندارد برای مقدار باقیمانده آفت‌کش‌ها در خشکبار و مغزها وجود ندارد. این پژوهشگران معتقدند مقادیر کم آفت‌کش ممکن است در اثر آلودگی محیطی باشد تا تماس مستقیم با آفت‌کش (پندی^۷ و همکاران، ۲۰۱۰) کورتز^۸ و همکاران (۲۰۰۸)، با روش کروماتوگرافی گازی - کروماتوگرافی مایع فاز معکوس آنالین (GC-RPLC) به آنالیز آفت‌کش‌ها در مغزهای آجیلی پرداختند. برای استخراج آفت‌کش از بافت مغزهای خوراکی با توجه آنکه دارای ۵۰ الی ۷۰ درصد

¹ López

² Danezis

³ Rafiei

⁴ Multi-residue

⁵ Danezis

⁶ Pandey

⁷ Pandey

⁸ Cortes

چربی می‌باشند از اتیل استات و سدیم سولفات استفاده نمودند. برای جداسازی باقیمانده آفت‌کش از سایر ترکیبات از کروماتوگرافی با کارایی بالا استفاده گردید. کاربرد این روش برای آنالیز آفت‌کش در پسته، بادام زمینی، گردو، فندق و دانه آفتابگردان پیشنهاد شده است (کوتز و همکاران، ۲۰۰۸).

امامی و همکاران (۲۰۱۵)، برای آنالیز باقیمانده آفت‌کش (۱۲ نوع آفت‌کش) در پسته یک روش سریع، ساده و ارزان همراه با ایمنی بالا با استفاده از کروماتوگرافی گازی- اسپکترومتر جرمی معرفی و بهینه‌سازی نمودند. باقیمانده آفت‌کش‌های اتیون، کارباریل، فنیتروتیون، فنتیون، کلروپیروفوس، دیازینون، آلفا- اندوسولفان، بتا- اندوسولفان، پرمترین و فوزالون در پسته انجام شد. میزان بازیافت (۹۳/۰۸-۸۱/۴۰ درصد) و تکرارپذیری این روش برای آفت‌کش‌ها منطبق بر محدوده دستورالعمل تدوین شده توسط کمیسیون اتحادیه‌های اروپا (۲۰۰۶) بود. بنابراین به‌عنوان یک روش مرجع جهت آنالیز باقیمانده آفت‌کش در پسته و مغزها مطرح است.

حسین^۱ و همکاران (۲۰۰۳)، باقیمانده آفت‌کش‌های دیازینون و اتیون را در دانه پسته با استفاده از روش دیسپرسیون فاز جامد به همراه کروماتوگرافی گازی اندازه‌گیری نمودند. در این بررسی میزان بازیافت برای اتیون ۹۵ درصد و برای دیازینون ۹۴ درصد به‌دست آمد. بر اساس نتایج، روش مورد استفاده می‌تواند با دقت بالایی آفت‌کش موجود در پسته را ردیابی و تعیین مقدار نماید (حسین و همکاران، ۲۰۰۳).

در مطالعه دیگری نوپیا^۲ و همکاران (۲۰۱۶)، باقیمانده آفت‌کش را در ۱۲۰ نمونه مواد غذایی خام شامل لوبیا، کاهو، گوشت گاو و ماهی نمونه‌برداری شده از بازار آفریقا با روش GC-MS بررسی شد. بالاترین باقیمانده آفت‌کش (DDE) در نمونه گوشت گاو برابر ۴/۷۸-۲۵۳/۵۸ و کمترین باقیمانده (BHC) در لوبیا برابر ۴/۸۸-۳۸/۵۴ میکروگرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. همچنین نتایج آنان نشان مقدار آفت‌کش‌های ارگانوکلر در تمامی نمونه‌های جمع‌آوری شده بالاتر از میزان استاندارد بود.

وانویمولروک^۳ و همکاران (۲۰۱۵)، نوع و باقیمانده آفت‌کش را در ۱۱۷ نمونه کلم چینی جمع‌آوری شده از بازار محلی ایالات مختلف کشور تایلند با بکارگیری روش GC-MS-MS ارزیابی نمودند. در ۸۵ درصد نمونه‌ها ۱۲ نوع نمونه تشخیص داده شد. مانده آفت‌کش‌های، کارباریل، ولتامترین، دیازینون، فنوالرات و مالاتیون در نمونه‌ها کمتر از مرز بیشینه مانده آفت‌کش‌ها (MRL) بود و در ۳۴ نمونه باقیمانده آفت‌کش‌های کربوفوران، کلروپیروفوس، کلروتالونیل، سیپرومترین، دی‌متوات، متا‌الاکیل و پروفنوفوس بیشتر از MRL بود. به طور کلی ۲۹ درصد میزان آفت‌کش‌های تعیین مقدار شده بالاتر از MRL بودند که این میزان بیشتر از میزان تعیین شده برای کشورهای توسعه یافته است. این محققین پایش مستمر باقیمانده آفت‌کش را برای کاهش ریسک خطر سلامت جامعه ضروری می‌دانند.

پترارکا^۴ و همکاران (۲۰۱۶)، در ۲۲ نمونه غذای کودک بر پایه میوه آماده مصرف نمونه‌برداری شده به‌صورت تصادفی از پنج فروشگاه مواد غذایی در یکی از شهرهای برزیل، باقیمانده آفت‌کش‌های متعلق به دسته‌های مختلف^۵ با روش GC-MS را اندازه‌گیری نمودند. ۱۴ نوع آفت‌کش شناسایی شد که میزان پروسیمدون بیشتر از MRL بود. با توجه به اهمیت نوع ماده غذایی و مصرف‌کننده (نوزادان) آن پایش آفت‌کش بسیار با اهمیت است.

مواد و روش‌ها

تمامی حلال‌هایی که در مراحل پاکسازی و استخراج در این تحقیق استفاده شدند، Analytical grade بوده و از شرکت مرک (آلمان) تهیه شده بود. استانداردهای آفت‌کش (خلوص ۹۹٪) نیز از شرکت سیگما (آمریکا) تهیه شد. از چهار منطقه مهم تولید پسته در دامغان یعنی شامل امیریه (از روستاهای امیرآباد، سیدآباد، مروان، قدرت‌آباد)، مهماندوست (نعیم آباد، قادرآباد و

¹ Husain

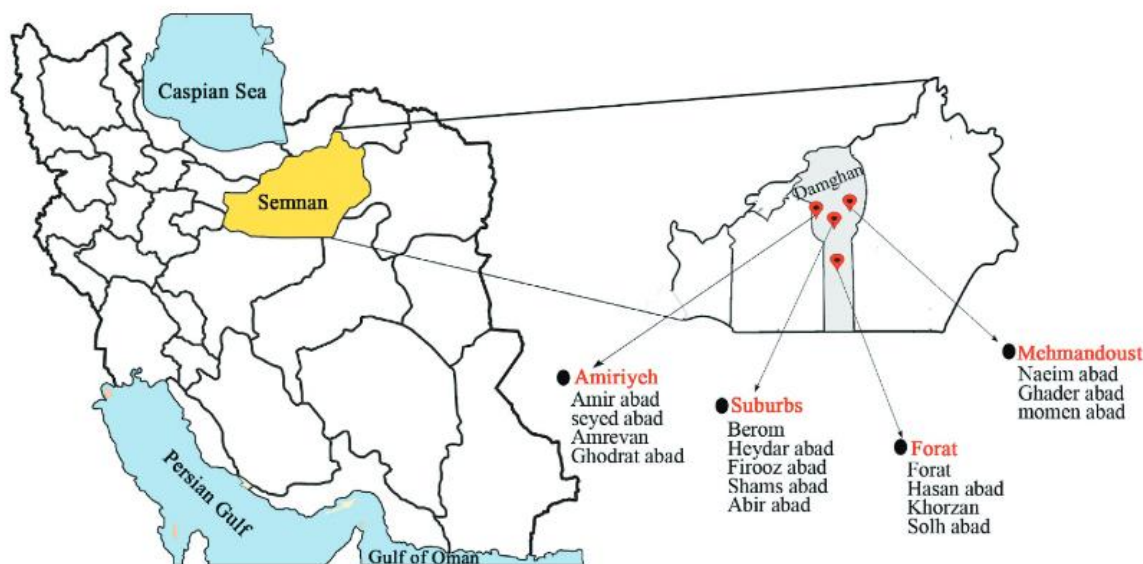
² Nuapia

³ Wanwimolruk

⁴ Petrarca

⁵ Multi class pesticide

مومن‌آباد)، حومه دامغان (برم، حیدرآباد، فیروزآباد، شمس‌آباد و عبیرآباد) و منطقه فرات (فرات، حسن‌آباد، خورزان و صلح‌آباد)، ۵۲ نمونه پسته (هر نمونه ۳ کیلوگرم) به صورت تصادفی تهیه شد (شکل ۲).



شکل ۱: چهار منطقه مهم پسته‌کاری شهرستان دامغان، به عنوان مناطق نمونه‌برداری پسته (منبع: جهاد کشاورزی استان سمنان).

برای نمونه‌برداری از دستگاه نمونه‌بردار بامبو استفاده شد. برای هر نمونه، یک برگه مشخصات شامل محل و تاریخ نمونه‌برداری، مقدار و رقم پسته، منشأ یا باغ تولید پسته، اطلاعاتی در زمینه آفت‌کش (زمان و نوع مصرف آفت‌کش) و باغدار و محل باغ، تنظیم و تکمیل گردید. نمونه‌ها از ترمینال‌ها و کارگاه‌های فراوری پسته، از آخرین مرحله فراوری، از روی میدان آفتابی تهیه شد. پس از کدگذاری نمونه‌ها جهت آنالیز باقیمانده آفت‌کش‌ها توسط GC-MS به آزمایشگاه منتقل شد. پس از انجام آنالیز نمونه‌ها، نتایج حاصل تفسیر و تحلیل آماری گشته و با استانداردهای مربوطه مقایسه شد.

نمونه‌های پسته برای شناسایی باقیمانده آفت‌کش‌ها برطبق استانداردهای موسسه استاندارد ملی ایران (ویژه مواد غذایی با منشأ گیاهی) آماده شدند. استخراج و پاکسازی بر اساس شیوه SPE-QuEChERS انجام شد، ۱۰ گرم مغز پسته آسیاب شده در تیوپ‌های ۵۰ میلی‌لیتری سانتریفوژ قرار گرفت و به آن ۱۰ میلی‌لیتر استونیتریل برای استخراج اضافه شد. سپس، ترکیبی شامل ۱ گرم NaCl، ۴ گرم $MgSO_4$ ، ۱ گرم سیترات سدیم دهیدرات و ۰/۵ گرم di-sodium hydrogen citrate به تیوپ‌ها اضافه شد و و نمونه‌ها با استفاده از ورتکس کاملاً مخلوط شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه (rpm) سانتریفوژ شده و عصاره به یک فالكون حاوی ۱۵۰ میلی‌گرم $MgSO_4$ و ۵۰ میلی‌گرم جاذب آمینی و ۵۰ میلی‌گرم C18 اضافه شد. مخلوط درون تیوپ با ورتکس به مدت ۱ دقیقه ترکیب شد و دوباره به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه و در دما ۵- درجه سلسیوس سانتریفوژ شدند. مخلوط با اضافه کردن اسید فرمیک ۵٪ در استونیتریل (۱۰ میکرولیتر در هر میلی‌لیتر عصاره) اسیدی شده و عصاره‌ها به منظور بررسی باقیمانده آفت‌کش با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی-اسپکترومتر جرمی (GC/MS) و کروماتوگرافی مایع-اسپکترومتر جرمی (LC/MS/MS) آنالیز شد. آنالیز کروماتوگرافی گازی با استفاده از تکنولوژی کمپانی اجیلنت (Agilent) آمریکا، مدل BYA۹۰ کوپل شده با طیف سنج جرمی A۵۹۷۷ انجام گرفت. گاز حامل هلیوم با جریان ۰/۱ ml/min و برنامه دمایی از ۷۰ درجه سانتیگراد شروع و تا دمای نهایی ۳۲۰ درجه سانتیگراد با سه سطح دمایی تنظیم شده بود. آنالیز (LC-MS/MS) با استفاده از یک Quattro micro™ میکرو کواترو کوپل شده با طیف‌سنج جرمی چهارقطبی محصول کمپانی اجیلنت آمریکا، انجام گرفت. ستون UPLC BEH C18 به

منظور جدا نمودن آنالیز به کار گرفته شد. حلال مورد استفاده، مخلوط متانول/آب با جریان 0.45 ml/min بود. ردیابی آنالیز MS بر طبق دستورالعمل‌های کمیسیون اروپا مورد تأکید قرار گرفت. بر پایه دستورالعمل‌های Sante، فرآیند پیشنهادی برای آنالیز باقیمانده آفت‌کش در نمونه‌های پسته ارزیابی شد. نمونه‌های پسته خالی دامنه‌ای از 0.1 تا 25 mg/kg داشته و منحنی‌های کالیبراسیون برای هر ترکیب آفت‌کش رسم شد. محدودیت شناسایی (LOD) و محدودیت کمیت سنجی (LOQ) هر ترکیب تعیین شد. همچنین، بازیابی (بازیافت) هر آفت‌کش به روش تهیه غلظت‌های متفاوت از محلول‌های آفت‌کش استاندارد (50 ، 100 ، 150 و 200 µg/ml) اندازه‌گیری شد.

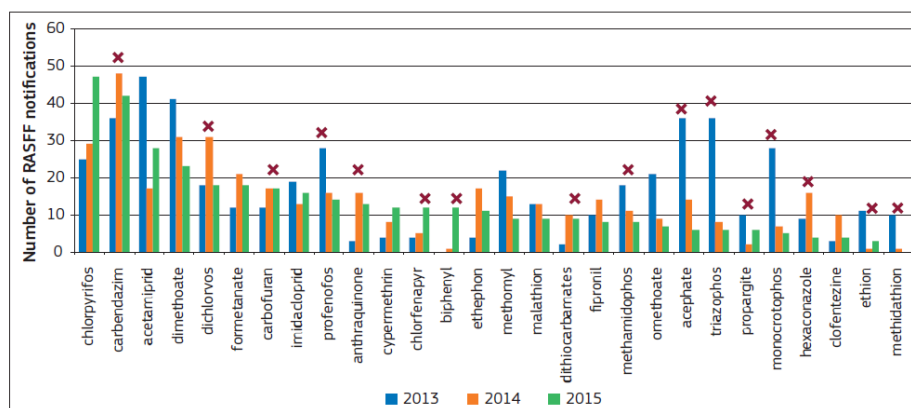
به منظور مطالعه آلودگی احتمالی پسته‌های نمونه‌برداری شده به آفلاتوکسین، آلودگی نمونه‌های جمع‌آوری شده به آفلاتوکسین مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین میزان آفلاتوکسین در نمونه‌های پسته، ابتدا نمونه‌های پسته برای خشک شدن در حرارت 60 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت در آون قرار داده شد. پس از خشک شدن و خارج نمودن نمونه‌ها از آون، نمونه‌ها توسط مخلوط‌کن به مدت 2 دقیقه با دور تند آسیاب شد. جهت انجام آزمایش و سنجش میزان آلودگی نمونه‌ها به انواع آفلاتوکسین از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC)، استفاده شد.

آنالیز آفلاتوکسین نمونه‌ها با دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) (Waters, USA) طبق روش ذیل انجام شد. برای آنالیز آفلاتوکسین‌ها (AF) در پسته، ابتدا نمونه‌های پسته با آب به نسبت 1 به 3 با استفاده از دستگاه slurry به مدت 15 دقیقه مخلوط شد، سپس 30 گرم از نمونه slurry با 90 میلی‌لیتر متانول خالص مخلوط شده و استخراج با استفاده از دستگاه آسیاب waring به مدت 3 دقیقه انجام شد. مایع به دست آمده با استفاده از فیلتر صاف شده و 8 میلی‌لیتر از آن با 42 میلی‌لیتر بافر فسفات مخلوط شد. برای خالص‌سازی نمونه از ستون‌های حاوی آنتی‌بادی بنام ستون‌های ایمونوآفینیته استفاده شد. ابتدا برای آماده‌سازی ستون، 20 میلی‌لیتر بافر فسفات از ستون عبور داده شد، سپس 25 میلی‌لیتر از عصاره مخلوط شده با بافر فسفات از ستون عبور داده شد و مجدداً ستون با 20 میلی‌لیتر بافر فسفات شسته شد. پس از خشک کردن ستون 500 میکرولیتر متانول با درجه خلوص کروماتوگرافی مایع از ستون عبور داده شد و پس از 1 دقیقه توقف، مجدداً 750 میکرولیتر از متانول از ستون عبور داده شد. پس از جمع‌آوری کل فاز متانول، 1750 میکرولیتر آب به آن اضافه شد و نهایتاً 200 میکرولیتر از آن به دستگاه HPLC تزریق شد. برای آنالیز AF موجود در نمونه، از ترسیم منحنی کالیبراسیون با استفاده از استانداردهای خالص AF استفاده شد. بدین منظور هفت غلظت مختلف از AFB_1 در محدوده غلظتی 0.4 ng/ml تا $2/7 \text{ ng/ml}$ تهیه و 200 میکرولیتر از آن‌ها به دستگاه HPLC تزریق شد و بر مبنای معادله خط به دست آمده، غلظت AF در نمونه‌ها محاسبه شد. در مورد دستگاه HPLC فاز متحرک، متانول/آب به میزان 40 به 60 و برای مشتق‌سازی از برمید پتاسیم، اسید نیتریک و دستگاه کبراسل استفاده شد. ستون مورد استفاده (partisil 5 ODS3 ساخت آمریکا) ستون کروماتولیت (10 cm) و قطر داخلی آن $4/6$ میلی‌متر بود. دمای ستون در هنگام آنالیز روی 35 درجه سلسیوس تنظیم شد و سرعت جریان فاز متحرک $2/5 \text{ ml/min}$ بود و آشکارساز مورد استفاده آشکارساز فلورسانس و طول موج برانگیختگی و نشر آن به ترتیب برابر 365 nm و 435 nm بود (محمدی مقدم^۱ و همکاران، 2020).

یافته‌های پژوهش

نتایج این تحقیق حاکی از وجود باقیمانده 11 نوع آفت‌کش در نمونه‌های پسته بوده که در بین آفت‌کش‌های ردیابی شده، میزان دو آفت‌کش استامی پراید و ایمیداکلوپراید و MRL (حداکثر باقیمانده مجاز) آنها به ترتیب به میزان 0.1359 mg/kg (MRL) و 0.05 mg/kg (MRL) و 0.3448 mg/kg (MRL) تعیین شد که بالاتر از حد استاندارد اتحادیه اروپا بود. به طور کلی، شاخص 9 MRL نمونه ($1/173$) آفت‌کش‌ها بالا و در بقیه نمونه‌ها، همه آفت‌کش‌ها کمتر از میزان شاخص MRLs بودند. همچنین، با ارزیابی مقدار آفلاتوکسین در نمونه‌های پسته، مشخص شد که از 52 نمونه مورد آزمایش، 9 نمونه به آفلاتوکسین آلودگی داشتند که آلودگی 8 نمونه کمتر از حد مجاز و آلودگی یک نمونه بالاتر از حد مجاز بود.

^۱ Mohammadi Moghadam



شکل ۲: گزارشات باقیمانده آفت کش در مواد غذایی در سال های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ ثبت شده توسط RASFF. مواردی که با × مشخص شده اند شامل آفت کش های تأیید نشده در اروپا می باشند.

همان گونه که در جدول ۱ نشان داده شده، در کل ۱۱ نوع آفت کش در نمونه های پسته با استفاده از دو روش GC/MS و LC/MS/MS تشخیص داده شد. میزان MRL اتحادیه اروپا برای هر آفت کش شناسایی شده در نمونه ها، در جدول ۱ آمده است که برای تفسیر داده های باقیمانده آفت کش به کار رفت. همچنین، LODs و LOQs که نشان دهنده حساسیت شیوه ها هستند برای ارزیابی آفت کش ها حتی در غلظت های بسیار پایین MRL تعیین شده به کار گرفته شدند. ضریب رگرسیون (r^2) برای برآورد شیوه محاسبه شد. بر پایه منحنی های استاندارد به دست آمده، خطی بودن آنها نشان دهنده واقعی بودن نتایج و ارزیابی ها بود (جدول ۱). شاخص های بازیافت به عنوان میانگین گزارش شدند و RSD در جدول ۱ داده شده است. داده های بازیافت به دست آمده در این مطالعه در یک دامنه مورد قبول از ۷۱/۵٪ برای پرمترین تا ۹۴/۵٪ برای اتیون بودند. تعیین سطح آلودگی به آفت کش در نمونه های پسته نشان داد که ۳۰/۴٪ از آفت کش شناسایی نشدند و ۶۹/۶٪ از آفت کش بالای LODs قرار داشتند. میزان ۷۱/۴٪ از همه آفت کش های ردیابی شده بالای LOQs قرار داشتند، به جز اندوسولفان آلفا (۳۵/۰۰۳۴ mg/kg)، اندوسولفان بتا (۳۴/۰۰۳۴ mg/kg) و آمیتراز (۳۷/۰۰۳۷ mg/kg) که متوسط باقیمانده کل بالای LOQ بود (۴/۰۰۴۰ mg/kg).

جدول ۱: MRLs تعیین شده توسط اتحادیه اروپا و اعتبارسنجی شیوه GC-MS و LC/MS/MS برای آنالیز باقیمانده

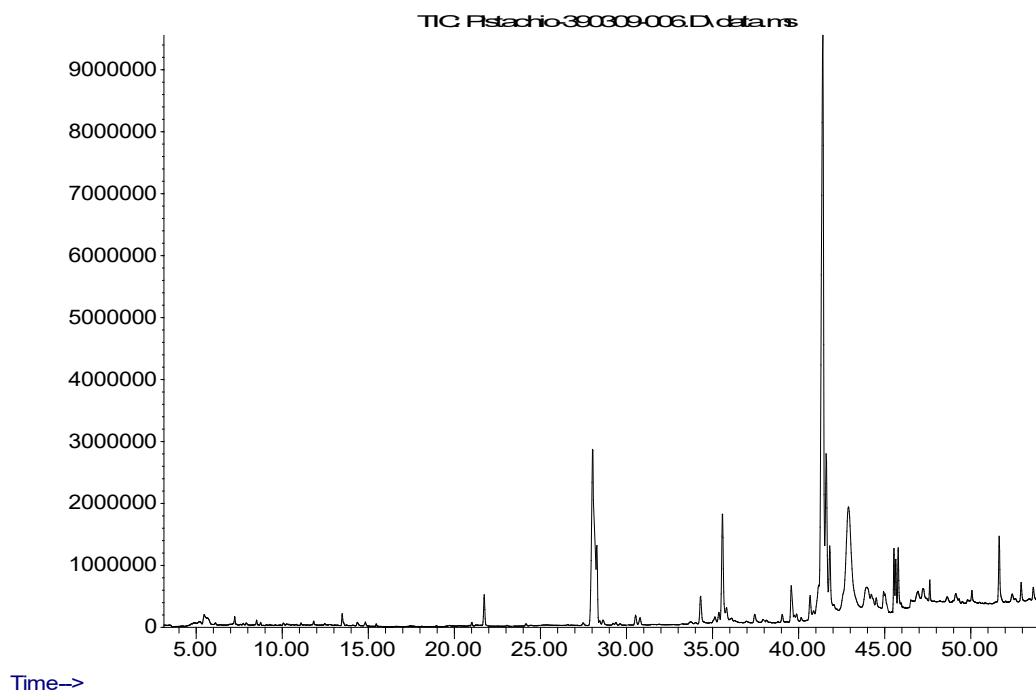
ترکیب	فرمول شیمیایی	گروه شیمیایی	EU MRL mg/kg	LOD mg/kg	LOQ mg/kg	Regression coefficient r^2	Recovery Mean $\pm$ RSD %
Chlorpyrifos	C ₉ H ₁₁ Cl ₃ NO ₃ PS	Organophosphates	0.01	0.0001	0.0040	0.996	89.32 $\pm$ 1.80
Diazinon	C ₁₂ H ₂₁ N ₂ O ₃ PS	Organophosphates	0.02	0.0001	0.0040	0.996	75.23 $\pm$ 2.3
Fenthion	C ₁₀ H ₁₅ O ₃ PS ₂	Organophosphates	0.02	0.0001	0.0040	0.995	87.94 $\pm$ 1.40
Ethion	C ₉ H ₂₂ O ₄ P ₂ S ₄	Organophosphates	0.02	0.0001	0.0040	0.998	94.52 $\pm$ 2.80
Fenitrothion	C ₉ H ₁₂ NO ₅ PS	Organophosphates	0.02	0.0001	0.0040	0.999	88.21 $\pm$ 1.92
ndosulfan- alpha	C ₉ H ₆ Cl ₆ O ₃ S	Organochlorines	0.1	0.0001	0.0040	0.999	85.56 $\pm$ 1.65
Endosulfan- beta	C ₉ H ₆ Cl ₆ O ₃ S	Organochlorines	0.1	0.0001	0.0040	0.995	88.64 $\pm$ 2.69
Endosulfan- Total	C ₉ H ₆ Cl ₆ O ₃ S	Organochlorines	0.1	0.0001	0.0040	0.996	84.89 $\pm$ 3.82
Permethrin II	C ₂₁ H ₂₀ Cl ₂ O ₃	Pyrethroid	0.05	0.0001	0.0040	0.998	71.54 $\pm$ 3.40
Permethrin- Total	C ₂₁ H ₂₀ Cl ₂ O ₃	Pyrethroid	0.05	0.0001	0.0040	0.998	80.78 $\pm$ 2.60
Acetamiprid	C ₁₀ H ₁₁ ClN ₄	Chloropyridinyln conicotinoids	0.07	0.0004	0.0020	0.999	81.34 $\pm$ 3.51
Imidacloprid	C ₉ H ₁₀ ClN ₅ O ₂	Neonicotinoids	0.05	0.0002	0.0040	0.997	76.89 $\pm$ 1.98
Thiacloprid	C ₁₀ H ₉ ClN ₄ S	Neonicotinoids	0.02	0.0002	0.0010	0.994	81.74 $\pm$ 2.47
Amitraz	C ₁₉ H ₂₃ N ₃	Nicotinoids	0.05	0.0001	0.0040	0.998	91.22 $\pm$ 1.31

سطوح میانگین باقیمانده آفت کش به دست آمده در نمونه‌های پسته (mg/kg) در مورد انواع آفت کش، 0.0004 ± 0.007 برای کلروپیروفس، 0.0001 ± 0.005 برای دیازینون، 0.0001 ± 0.006 برای فنتیون، 0.0004 ± 0.008 برای اتیون، 0.0003 ± 0.003 برای فنیتروتیون، 0.0002 ± 0.003 برای اندوسولفان آلفا، 0.00015 ± 0.0004 برای اندوسولفان بتا، 0.0004 ± 0.004 برای اندوسولفان کل، 0.0009 ± 0.009 برای پرمترین II، 0.0006 ± 0.011 برای پرمترین کل، 0.135 ± 0.135 برای ایمیداکلوپرید، 0.0004 ± 0.002 برای تیاکلوپرید، 0.344 ± 0.18 برای استامی پراید و 0.002 ± 0.003 برای آمیتراز بودند.

در مورد دو نوع آفت کش شامل، استامی پراید و ایمیداکلوپراید، میزان MRL به ترتیب بالاتر از مقدار مورد پذیرش اتحادیه اروپا به میزان 0.1359 mg/kg (MRL 0.05 mg/kg) و 0.3448 mg/kg (MRL 0.07 mg/kg) بود. به طور کلی، در ۹ نمونه (۱۷/۳٪) آفت کش‌ها بالای MRLs بود و در بقیه نمونه‌ها، همه آفت کش‌ها کمتر از میزان شاخص MRLs بودند.

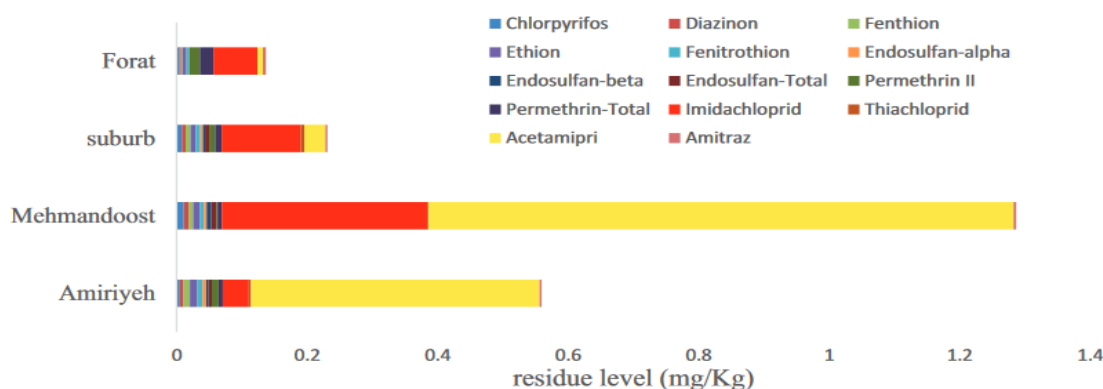
تفاوت در مناطق تولید پسته بر اساس سطوح باقیمانده آفت کش در شکل ۲ اثبات شده است. مشاهده شد که شاخص متوسط باقیمانده آفت کش به طور معنی داری در گروه نیکوتینوئیدها (آمیتراز، استامی پراید، ایمیداکلوپراید، تیاکلوپرید) ($p < 0.05$) متفاوت بود که در این میان، منطقه مهماندوست بالاترین میزان باقیمانده ایمیداکلوپراید 0.3150 mg/kg و استامی پراید 0.8966 mg/kg را نشان داد که بالاتر از MRL بود. در مورد سموم گروه ارگانوفسفاتها (کلروپیروفس، دیازینون، فنتیون، اتیون و فنیتروتیون) بالاترین میزان باقیمانده برای اتیونات 0.1175 mg/kg در منطقه امیریه ردیابی شد که پایین تر از شاخص اتحادیه اروپا (0.02 mg/kg) بود. همچنین، میزان کلروپیروفس 0.110 mg/kg در منطقه مهماندوست بالاتر از دیگر مناطق بود، اما نزدیک شاخص اتحادیه اروپا (0.01 mg/kg) قرار داشت.

Abundance



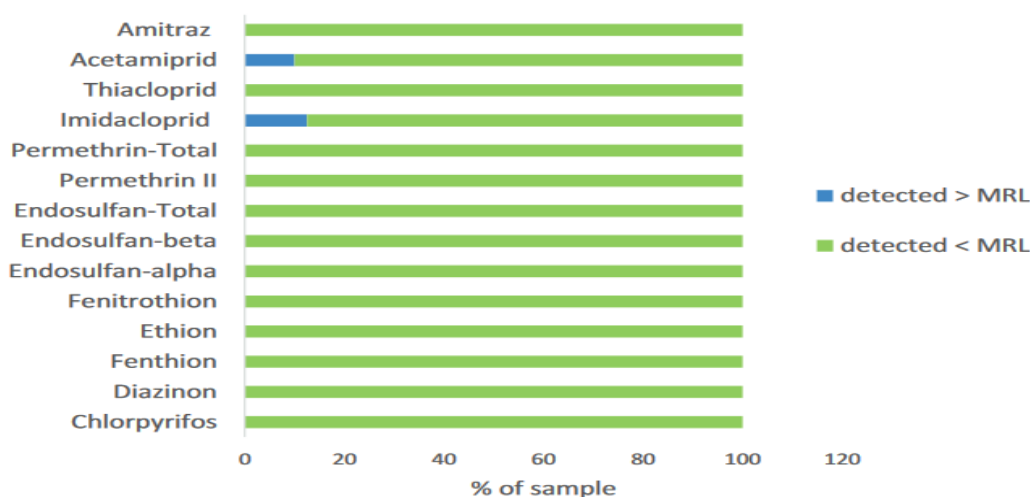
Time→

شکل ۳: کروماتوگرام یک نمونه پسته که بر اساس فراوانی به زمان بازداری هر جزء نمونه است



(a)

شکل ۴: باقیمانده آفت کش ها در نمونه های پسته از مناطق مختلف نمونه برداری شهرستان دامغان



(b)

شکل ۵: فراوانی شناسایی آفت کش های ردیابی شده در نمونه ها، که درصد نمونه های با باقیمانده آفت کش $MRL <$ و درصد نمونه های با باقیمانده آفت کش $MRL >$ را نشان می دهد

میزان گروه ارگانوکلرین های آفت کش (اندوسولفان آلفا، اندوسولفان بتا و اندوسولفان کل) در همه نمونه های پسته از مناطق تولید پسته، دامنه کمی از عدم شناسایی (ND) تا 0.057 (mg/kg) برای اندوسولفان آلفا، عدم شناسایی تا 0.073 (mg/kg) برای اندوسولفان بتا و عدم شناسایی تا 0.08 (mg/kg) برای اندوسولفان کل بود.

با ارزیابی مقدار آفاتوکسین احتمالی در نمونه های پسته با روش HPLC، مشخص شد که از ۵۲ نمونه مورد آزمایش، ۹ نمونه به آفاتوکسین آلودگی داشتند که آلودگی ۸ نمونه کمتر از حد مجاز (آفاتوکسین کل کمتر از 15 ppb و آفاتوکسین B_1 کمتر از 4 ppb) و آلودگی یک نمونه بالاتر از حد مجاز بود. به عبارت دیگر آلودگی $1/92\%$ نمونه های جمع آوری شده به آفاتوکسین بیشتر از حد مجاز بود. در ۹ نمونه آلوده، ۲ نمونه به آفاتوکسین B_1 ، ۳ نمونه به آفاتوکسین های B_1 و B_2 ، ۱ نمونه به آفاتوکسین های B_1, B_2, G_1 ، ۲ نمونه به آفاتوکسین های B_1, B_2, G_1 و G_2 و ۱ نمونه به آفاتوکسین های B_1 و G_1 آلوده بودند.

جدول ۲: میزان آلودگی به انواع آفلاتوکسین (G₂, G₁, B₂, B₁) در نمونه‌های پسته شهرستان دامغان

کد نمونه	منطقه نمونه برداری	نوع ترمینال	رقم پسته	میزان آلودگی به آفلاتوکسین (ppb)				
				TOTAL	G2	G1	B2	B1
MMA1	مهماندوست	مکانیزه	عباسعلی	NA	ND	ND	ND	ND
MMA2	مهماندوست	مکانیزه	عباسعلی	NA	ND	ND	ND	ND
MMA3	مهماندوست	مکانیزه	عباسعلی	NA	ND	ND	ND	ND
MMA4	مهماندوست	مکانیزه	عباسعلی	NA	ND	ND	ND	ND
MMA5	مهماندوست	مکانیزه	عباسعلی	NA	ND	ND	ND	ND
MMA6	مهماندوست	مکانیزه	عباسعلی	4.48	ND	1.19	ND	3.29
MMA7	مهماندوست	مکانیزه	عباسعلی	NA	ND	ND	ND	ND
MTA8	مهماندوست	سنتی	عباسعلی	NA	ND	ND	ND	ND
MTA9	مهماندوست	سنتی	عباسعلی	3.30	ND	ND	0.81	2.49
MTA10	مهماندوست	سنتی	عباسعلی	NA	ND	ND	ND	ND
MTA11	مهماندوست	سنتی	عباسعلی	4.64	ND	ND	1.02	3.62
MTA12	مهماندوست	سنتی	عباسعلی	3.85	ND	1.13	0.61	2.11
MMA13	مهماندوست	مکانیزه	عباسعلی	NA	ND	ND	ND	ND
AMA14	امیریه	مکانیزه	اکبری	NA	ND	ND	ND	ND
AMK15	امیریه	مکانیزه	خنجری	NA	ND	ND	ND	ND
AMK16	امیریه	مکانیزه	خنجری	NA	ND	ND	ND	ND
AMK17	امیریه	مکانیزه	خنجری	NA	ND	ND	ND	ND
AMK18	امیریه	مکانیزه	خنجری	NA	ND	ND	ND	ND
AMK19	امیریه	مکانیزه	خنجری	NA	ND	ND	ND	ND
ATK20	امیریه	سنتی	خنجری	2.34	ND	ND	0.92	1.42
ATA21	امیریه	سنتی	اکبری	NA	ND	ND	ND	ND
ATA22	امیریه	سنتی	اکبری	NA	ND	ND	ND	ND
ATK23	امیریه	سنتی	خنجری	NA	ND	ND	ND	ND
ATA24	امیریه	سنتی	اکبری	NA	ND	ND	ND	ND
AMA25	امیریه	مکانیزه	اکبری	NA	ND	ND	ND	ND
AMA26	امیریه	مکانیزه	اکبری	NA	ND	ND	ND	ND
FTA27	فرات	سنتی	اکبری	NA	ND	ND	ND	ND
FMS28	فرات	مکانیزه	شاهپسند	NA	ND	ND	ND	ND
FMS29	فرات	سنتی	شاهپسند	NA	ND	ND	ND	ND
FMK30	فرات	مکانیزه	خنجری	NA	ND	ND	ND	ND
FMK31	فرات	مکانیزه	خنجری	NA	ND	ND	ND	ND
FTK32	فرات	سنتی	خنجری	NA	ND	ND	ND	ND
FTS33	فرات	سنتی	شاهپسند	NA	ND	ND	ND	ND
FTA34	فرات	سنتی	اکبری	NA	ND	ND	ND	ND
FTK35	فرات	سنتی	خنجری	NA	ND	ND	ND	ND
FTA36	فرات	سنتی	اکبری	NA	ND	ND	ND	ND

NA	ND	ND	ND	ND	اکبری	مکانیزه	فرات	FMA37
NA	ND	ND	ND	ND	اکبری	مکانیزه	فرات	FMA38
NA	ND	ND	ND	ND	خنجری	سنتی	فرات	FTK39
NA	ND	ND	ND	ND	شاه پسند	مکانیزه	حومه	SMS40
NA	ND	ND	ND	ND	شاه پسند	مکانیزه	حومه	SMS41
NA	ND	ND	ND	ND	شاه پسند	مکانیزه	حومه	SSS42
NA	ND	ND	ND	ND	عباسعلی	مکانیزه	حومه	SMA43
NA	ND	ND	ND	ND	عباسعلی	سنتی	حومه	STA44
5.81	0.27	1.38	1.29	2.87	شاه پسند	سنتی	حومه	STS45
NA	ND	ND	ND	ND	شاه پسند	سنتی	حومه	STS46
4.49	ND	ND	ND	7.49	شاه پسند	سنتی	حومه	STS47
7.31	0.87	2.14	1.07	3.23	شاه پسند	سنتی	حومه	STS48
NA	ND	ND	ND	ND	خنجری	سنتی	حومه	STK49
2.07	ND	ND	ND	2.07	خنجری	سنتی	حومه	STK50
NA	ND	ND	ND	ND	اکبری	سنتی	حومه	STA51
NA	ND	ND	ND	ND	اکبری	سنتی	حومه	STA52

ND=NOT Detected

NA=NOT Applicable

بحث و نتیجه‌گیری

مدیریت آلودگی و مسائل محیط زیستی در محصولات کشاورزی اهمیت زیادی دارد (کیومرثی^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). پسته یکی از اقلام عمده صادرات غیرنفتی ایران است که در بازارهای جهانی شناخته شده و معروف است. در بین صادرات غیرنفتی، در حال حاضر پسته مقام اول صادرات را به خود اختصاص می‌دهد. از مهمترین چالش‌های پیش روی امنیت غذایی و سلامت جامعه انسانی، موضوع باقیمانده آفت‌کش‌ها در محصولات کشاورزی و وجود میکوتوکسین‌ها، به ویژه آفلاتوکسین در محصولات کشاورزی به خصوص خشکبار است، که باعث وضع قوانین و مقررات سخت‌گیرانه و هزینه‌های مختلف جهت مدیریت آلودگی در سطوح مختلف از تولید تا مصرف می‌شود (بنت و کلیک^۲، ۲۰۰۳). آلودگی پسته به آفلاتوکسین و موضوع باقیمانده آفت‌کش‌ها می‌تواند این منبع درآمد ارزی را تهدید کرده و ما را از رقابت در بازار جهانی باز دارد. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، جنبه‌های مختلف موضوع باقیمانده آفت‌کش‌ها و آلودگی پسته به قارچ *A. flavus* و آفلاتوکسین باید مورد مطالعه قرار گیرد. به این منظور در این تحقیق، نوع و مقدار مانده آفت‌کش‌ها در پسته با روش کروماتوگرافی گازی- اسپکترومتری جرمی و میزان آلودگی به آفلاتوکسین در پسته در شهرستان دامغان، مورد بررسی قرار گرفت.

مطالعات مشابه روی خشکبار و مواد غذایی دیگر مشخص کرد که توزیع باقیمانده آفت‌کش در محصولات کشاورزی بسیار متغیر است. مروتی^۳ و ارجمند کرمانی (۱۳۹۴)، میزان مانده آفت‌کش‌های اندوسولفان و فوزالون در میوه پسته (رقم اوحدی) که از ابتدای اردیبهشت ماه تا زمان رسیدن میوه کامل، در هفت زمان مشخص سم‌پاشی و در شهریور ماه برداشت شدند را بررسی نمودند. نتایج نشان داد میزان اندوسولفان در سه نمونه از ۴۲ نمونه بیشتر از حد مجاز و میزان فوزالون در ۴۱ نمونه از ۴۲ نمونه بیشتر از حد مجاز بود. از آنجا که دوره کارنس آفت‌کش فوزالون بیشتر از اندوسولفان است لذا، پیشنهاد شده در ماه‌های مرداد و شهریور سم‌پاشی انجام نشود تا محصولی عاری از سم داشته باشیم. در پژوهش امیراحمدی و همکاران (۲۰۱۱)، هفده نوع آفت‌کش در برنج با روش GC-MS به صورت همزمان تعیین مقدار گردید. مانده آفت‌کش در ۲۳ نمونه برنج نمونه‌برداری شده از

¹ Kioumars

² Bennett and Klich

³ Morvati

بازار خرده‌فروشی شهر تهران انجام شد. براساس نتایج این تحقیق مقدار مانده آفت‌کش‌ها شامل فنتیون (۰/۰۵ ppm)، پیروپیکونازول (10 ppm)، دیازینون (2/0 ppm)، کارباریل (1 ppm)، فنیتروتیون (1 ppm)، فپیرونیل (01/0 ppm)، اکسادایزینون (02/0 ppm)، کلروپیروفوس متیل (1/0 ppm)، ادیفنفوس (1/0 ppm)، پیریمیپفوس متیل (1 ppm) بود. در این مطالعه، سطح دو آفت‌کش متعلق به گروه حشره‌کش‌ها، شامل استامی پراید و ایمیداکلوپرید در نمونه‌های پسته بالاتر از MRL بود. به نظر می‌رسد این آفت‌کش‌ها به طور گسترده در محصول پسته در مناطق مورد ارزیابی مصرف می‌شود. همچنین، نتایج این تحقیق ضرورت بررسی مداوم از طریق آموزش کشاورزان و باغداران برای کاهش مصرف آفت‌کش‌ها و سطح باقیمانده آفت‌کش در پسته را اثبات نمود. دانش و آگاهی در مورد دزهای ایمن و دوره مصرف آفت‌کش‌ها در محصول پسته بسیار اهمیت دارد، تا محصولی سالم با سطح باقیمانده پایین آفت‌کش تولید گردد. تقی زاده و همکاران در تحقیقی در سال ۲۰۱۹، در ارزیابی باقیمانده آفت‌کش‌ها در پسته از چهار منطقه تولید پسته ایران شامل دامغان، رفسنجان، فیض آباد و سرخس، سموم دیازینون، اتیون، فنپیروکسی میت، فوزالون، گلیفوسیت و متاسیستوکس را گزارش نمودند و بالاترین میزان باقیمانده آفت‌کش‌ها در منطقه فیض آباد تشخیص داده شد. همچنین همه مناطق، سطوح مشابهی از سموم استامی پراید و ایمیداکلوپرید داشتند. در مطالعه دیگری در رفسنجان، پژوهشگران مشخص نمودند که آمیتراز و پاراتیون اصلی‌ترین آفت‌کش‌های مورد استفاده در باغ‌های پسته هستند. همچنین، امامی و همکاران در سال ۲۰۱۷ در تحقیقی نشان دادند که فنیتروتیون، کارباریل و دیازینون بالاترین میزان باقیمانده آفت‌کش را در نمونه‌های پسته ایران دارند. به طور کلی، این نتایج مشخص نمود که سطح باقیمانده آفت‌کش‌ها در پسته ایران با توجه به نوع رقم و مناطق تولید پسته متغیر است. ضمن اینکه در حال حاضر حشره‌کش‌های آمیتراز، پاراتیون و کارباریل در باغ‌های پسته مصرف نمی‌شود.

معضل اصلی و مهم بسیاری از کشورهای تولیدکننده خشکبار در عرصه تولید و صادرات، مسأله آلودگی خشکبار به قارچ A. flavus و آفاتوکسین و نیز نوع و مقدار مانده آفت‌کش‌ها در مغز انواع خشکبار می‌باشد. آلودگی پسته به آفاتوکسین و باقیمانده آفت‌کش‌ها می‌تواند این منبع درآمد ارزی را تهدید کرده و ما را از رقابت در بازار جهانی باز دارد. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق وضعیت آلودگی به آفاتوکسین و نوع و مقدار مانده آفت‌کش‌ها در مغز پسته مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از مطالعه میزان آلودگی پسته به آفاتوکسین نشان داد که خوشبختانه آلودگی به آفاتوکسین در پسته‌های منطقه در حد بسیار کمی و پایین‌تر از حد مجاز است، همین مقدار آلودگی کم نیز، مربوط به کارگاه‌های سنتی فرآوری پسته است و از دلایل آن می‌توان به نبود نمگیر و دستگاه خشک‌کن در کارگاه‌های سنتی نسبت به ترمینال‌های مکانیزه اشاره کرد. لذا توصیه می‌شود به منظور کاهش آلودگی به قارچ A. flavus و آفاتوکسین، کارگاه‌های سنتی با این دستگاه‌ها تجهیز شوند.

منابع

- Cortes, J., Toledano, R., Villen, J., & Vazquez, A. (2008). Analysis of pesticides in nuts by online reversed-phase liquid chromatography-gas chromatography using the through-oven transfer adsorption/desorption interface. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 5544–5549.
- Danezis, G. P., Anagnostopoulos, C. J., Liapis, K., & Koupparis, M. A. (2016). Multi-residue analysis of pesticides, plant hormones, veterinary drugs and mycotoxins using HILIC chromatography-MS/MS in various food matrices. *Analytica Chimica Acta*, 942, 121–138.
- Gupta, P. K. (2004). Pesticide exposure - Indian scene. *Toxicology*, 198, 83–90.
- Husain, S. W., Kiarostami, V., Morrovati, M., & Tagebakhsh, M. R. (2003). Multi-residue determination of diazinon and ethion in pistachio nuts by use of matrix solid phase dispersion with a lanthanum silicate co-column and gas chromatography. *Acta Chromatographica*, 13, 208–214.
- Iran National Standardization Organization. (2011). *INSO 8366. Pesticides – Determination of residues in agricultural and veterinary products - Methods sampling*.
- Iran National Standardization Organization. (2013). *INSO 17026. Foods of plant origin determination of residues using LC-MS/MS following extraction/partitioning and clean up dispersive SPE origin-GC-MS and/or acetonitrile by SPE-QuEChERS method (1st ed.)*.

- Iran National Standardization Organization. (2015). *INSO 5060. Pesticide residues - Terms and definitions*.
- Iran National Standardization Organization. (2016a). *INSO 13117. Pesticides – Maximum residue limit of pesticides – Pome, stone & small fruits & nuts* (1st rev.).
- Iran National Standardization Organization. (2016b). *INSO 13120. Pesticides – Maximum residue limit of pesticides – Cereals* (1st rev.).
- Iran Pistachio Association (IPA). (n.d.). The industry. Retrieved from iranpistachio.org/en-the-industry
- Kioumarsi, H., Khorshidi, S., Allen, K., Masoudnia, A., Dhama, K., & Yahaya, Z. S. (2014). A review: Animal farming – the present and the future. In *Processing of the 28th Annual Convention of IAVMI along with National Symposium on "Challenges and opportunities in Veterinary Microbiology and Animal Health"*, Mathura University, India (Issue S8: P1, p. 123).
- Kioumarsi, H., Ali Doust, M., & Allen, S. C. (2022). Sustainable development. Avaye Ostad—ISBN: 978-622-94990-2-3.
- López, B. G., García-Reyes, J. F., & Díaz, A. M. (2009). Sample treatment and determination of pesticide residues in fatty vegetable matrices: A review. *Talanta*, 79, 109–128.
- Mahdavian, S. M., Askari, F., Kioumarsi, H., Naseri Harsini, R., Dehghanzadeh, H., & Saboori, B. (2024). Modeling the linkage between climate change, CH4 emissions, and land use with Iran's livestock production: A food security perspective. *Natural Resources Forum*, 1–24.
- Mohammadi Moghadam, M., Rezaee, S., Mohammadi, A. H., Zamanizadeh, H. R., & Moradi, M. (2020). Relationship between *Aspergillus flavus* growth and aflatoxin B1 and B2 production with phenolic and flavonoid compounds in green hull and kernels of pistachio cultivars. *Applied Entomology and Phytopathology*, 87(2), 13–23.
- Morvati, M., & Arjomand-Kermani, M. (2015). Assessment of endosulfan and fosalon pesticides residue in pistachio nut. *3rd International Conference on Applied Research in Agriculture Sciences*.
- Nuapia, Y., Chimuka, L., & Cukrowska, E. (2016). Assessment of organochlorine pesticide residues in raw food samples from open markets in two African cities. *Chemosphere*, 164, 480–487.
- Pandey, P., Raizada, R. B., & Srivastava, L. P. (2010). Level of organochlorine pesticide residues in dry fruit nuts. *Journal of Environmental Biology*, 31, 705–707.
- Petrarca, M. H., Fernandes, J. O., Godoy, H. T., & Cunha, S. (2016). Multiclass pesticide analysis in fruit-based baby food: A comparative study of sample preparation techniques previous to gas chromatography–mass spectrometry. *Food Chemistry*, 212, 528–536.
- RASFF - The Rapid Alert System for Food and Feed. (2015). *2015 annual report*. Retrieved from http://ec.europa.eu/food/safety/rasff/index_en.htm
- Rafiei, B., Kioumarsi, H., Naseri Harsini, R., & Mahdavian, S. M. R. (2023). Investigating the impact of climate change on environment and agriculture. *Journal of Environmental Research and Technology*, 8(13), 23–39.
- Rafiei, B., & Kioumarsi, H. (2024). Adverse effects of pesticides on environment and non-target organisms. *Journal of Environmental Research and Technology*, 9(16), 1–18.
- Rosen, A. R., Kioumarsi, H., & Gholipour Fereidouni, H. (2025). Climate action and net-zero emissions. *European Journal of Sustainable Development Research*, 9(4), em0334. <https://doi.org/10.29333/ejosdr/16864>
- USDA. (2014). *Pesticide MRL database*. Retrieved June 30, 2014, from <http://www.mrlatabase.com>
- Wanwimolruk, S., Kanchanamayoon, O., Phopin, K., & Prac, V. (2015). Food safety in Thailand 2: Pesticide residues found in Chinese kale (*Brassica oleracea*), a commonly consumed vegetable in Asian countries. *Science of the Total Environment*, 532, 447–455.
- WHO/FSF/FOS/97/7. (n.d.). Guideline for predicting dietary intake of pesticides.