



Thioazonic Acid in Food Contamination and It's Public Health Impacts: A Review

Sayed Arif Ahmadi

Department of Food Technology and Hygiene, Faculty of Veterinary Sciences, Kabul University, Kabul, Afghanistan

Email: sayedarif.ahmadi@yahoo.com

Article History

Received:
February 17, 2026

Accepted:
June 1, 2026

Published:
September 22, 2026

Abstract

Contamination of food products with a type of fungal toxin that gradually develops in agricultural commodities represents a hidden yet serious challenge in the field of human and Animals health. This contamination, due to its asymptomatic nature in early stages, is often overlooked and can cause irreversible harm to society. Significance and Necessity: Given the significant increase in food contamination in recent years, along with the lack of adequate awareness among producers and consumers regarding its dangerous consequences, conducting research in this area has become increasingly essential. This review study was conducted with three main objectives: to identify the sources of this toxin production, to investigate its prevalence in various food items, and to assess its adverse effects on human health. In this research, a systematic search was performed in reputable scientific databases, through which a collection of relevant articles was gathered and the required data were carefully analyzed. The results indicate that this toxic compound is predominantly found in products such as fish, Eggs, fruits, vegetables, and the nightshade family. This substance disrupts the process of cellular protein synthesis, damages liver tissue, and weakens the body's immune system. Ultimately, the findings emphasize the urgent need for developing preventive strategies and raising public awareness to mitigate the risks associated with this contamination impact the discoverability of the research.

Keywords

Animal Products; Food Contamination; Fungal Toxin; Liver; Immune System; Prevention; Public Health

Citation: Ahmadi, S. A. (1405). Thioazonic Acid in Food Contamination and It's Public Health Impacts: A Review. *Journal of Natural Sciences – Kabul University*, 9(2), 179–194. <https://doi.org/10.62810/jns.v9i2.540>



نقش تیوازونیک اسید در آلودگی مواد غذایی و پیامدهای حفظ الصحوی آن

پوهاند سید عارف احمدی

د یارتمنت تکنالوژی و حفظ الصحه مواد غذایی، پوهنځی علوم وترنری، پوهنتون کابل، کابل، افغانستان

ایمیل: sayedarif.ahmadi@yahoo.com

چکیده

مسئله تحقیق: آلودگی مواد غذایی به نوعی سم قارچی که به تدریج در محصولات زراعتی شکل می‌گیرد، یکی از معضلات پنهان اما جدی در ساحة صحت انسان و حیوان به شمار می‌رود. این آلودگی به دلیل نداشتن علائم آشکار در مراحل اولیه، اغلب نادیده گرفته شده و می‌تواند آسیب‌های جبران‌ناپذیری به جامعه وارد آورد. اهمیت و ضرورت تحقیق: با توجه به افزایش چشمگیر این آلودگی در سال‌های اخیر و نیز کمبود آگاهی کافی میان تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان درباره‌ی پیامدهای خطرناک آن، انجام تحقیق در این زمینه بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد. اهداف تحقیق: این مطالعه‌ی مروری با سه هدف اصلی انجام شده است: شناسایی منابع تولید این سم، بررسی میزان شیوع آن در مواد غذایی گوناگون، و ارزیابی تأثیرات زیان‌بار آن بر صحت و سلامت انسانیان شده است. روش تحقیق: در این تحقیق، با جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های علمی معتبر، مجموعه‌ای از مقالات مرتبط گردآوری و آمارهای مورد نیاز با دقت تحلیل شده‌اند. یافته‌های تحقیق: نتایج نشان می‌دهد که این ترکیب سمی بیشتر در محصولات ماهی تخم، میوه‌ها، سبزی‌ها و خانواده‌ی بادنجان یافت می‌شود. این ماده با اختلال در فرایند ساخت پروتئین‌های حجرات، به انساج جگر آسیب رسانده و سیستم معافیت بدن را تضعیف می‌کند. در پایان، نتایج بر لزوم تدوین راهکارهای پیشگیرانه و افزایش آگاهی عمومی تأکید دارد.

تاریخچه

تاریخ دریافت:

۲۸ دلو، ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش:

۱۱ جوزا، ۱۴۰۵

تاریخ نشر:

۳۱ سنبله، ۱۴۰۵

واژه‌های کلیدی

آلودگی مواد غذایی؛ پیشگیری؛ جگر؛ سم قارچی؛ صحت عمومی؛ سیستم معافیتی؛ محصولات حیوانی

مقدمه

الحمد لله رب العالمین و الصلوة و السلام علی سید المرسلین و علی آله و أصحابه أجمعین.

آلودگی مواد غذایی به میکوتوکسین‌ها یکی از معضلات جدی در بخش مصونیت مواد غذایی در سطح جهانی به شمار می‌رود و نتایج قابل توجهی برای صحت انسان و مصونیت غذایی به همراه دارد. این ترکیبات که متابولیت‌های ثانویه زهری حاصله از فعالیت فنگس‌های رشتوی هستند، در هر یک از حلقه‌های زنجیره تأمین غذایی از فارم تا دسترخوان می‌توانند به محصولات غذایی راه یابند (Eskola et al., 2020; Schatzmayr & Streit, 2013; Ostry et al., 2017). شواهد زیادی حکایت از آن دارد که میوه‌ها، سبزی‌ها و غله‌ها از مهم‌ترین بسترهای آلودگی به این زهری فنگسی به‌شمار می‌روند و عواملی؛ مانند انبارداری نامناسب و رطوبت بالا، این معضل را بیشتر می‌سازد (Barkai-Golan & Paster, 2008; Fraeyman et al., 2020).

در این میان، طی سال‌های اخیر توجه محققان قبل از قبل به میکوتوکسین‌های نوظهور معطوف شده است؛ ترکیب‌های که هرچند موجودیت شان در مواد غذایی تأیید شده، مگر هنوز چارچوب قانونی مشخصی برای حد مجاز آن‌ها ارایه نشده است (Fraeyman et al., 2020; Schaarschmidt & Fauhl-). تیوازونیک اسید نمونه‌ای از این گروه بوده، که عمدتاً توسط انواع مختلف فنگس‌های جنس *آلترناریا* نظیر *A. alternaria*، *A. tenuissima* و *A. solani* تولید می‌شود (EFSA, 2016; Ostry, 2013). هرچند این میکوتوکسین در گذشته چندان مورد توجه نبود، اما پیشرفت روش‌های تحلیلی، به‌خصوص در دو دهه اخیر، باعث شده حضور گسترده آن در انواع مواد غذایی آشکار شود (Puntscher et al., 2019; Zwickel et al., 2016). بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که نگرانی‌هایی را در خصوص اثرات بالقوه آن بر حفظ الصحة انسان و حیوانات ایجاد کرده است (Escrivá et al., 2017; Fraeyman et al., 2017). چنانچه گزارش شده است که پروسس مواد غذایی ممکن است در برخی موارد میزان این توکسین را کاهش دهد؛ اما در شرایط دیگر می‌تواند سبب باقی‌ماندن یا حتی تمرکز آن در محصول نهایی گردد (Schaarschmidt & Fauhl-Hassek, 2018). با وجود این شواهد، در بسیاری از کشورها هنوز حدود مجاز قانونی مشخصی برای تیوازونیک اسید در مواد غذایی تعیین نشده است و این موضوع موجب ایجاد خلأ در ارزیابی و مدیریت خطر شده است (Fraeyman et al., 2020; Puntscher et al., 2019).

با توجه به افزایش گزارش‌های مربوط به شناسایی تیوازونیک اسید در مواد غذایی و پیامدهای بالقوه آن برای حفظ الصحة عمومی، دستیابی به درک جامع و سیستماتیک از میزان بروز، منابع آلودگی و

اهمیت حفظ الصحوی این مایکوتوکسین ضروری می‌باشد. از این رو، هدف این مطالعه مرور شواهد علمی موجود در زمینه آلودگی مواد غذایی به تیوازونیک اسید، بررسی اثرات حفظ الصحوی آن و تأکید بر ضرورت بهبود نظام‌های نظارت‌کننده و آرایه راهبردهای نظارتی مؤثر در راستای ارتقای مصئونیت غذایی است.

تیوازونیک اسید در غله‌ها و فرآورده‌آن، میوه‌ها، سبزی‌ها، دانه‌های روغنی و حتی فرآورده‌های مبتنی بر بادنجان رومی فراوان یافت می‌شود که این خود گویای نفوذ قابل توجه آن در سبد غذایی انسان گفته شده است (Gruber-Dorninger et al., 2017; López et al., 2016; Wang et al., 2021; Zhao et al., 2021).

از نظر زهرشناسی، عمل اصلی اثرگذاری تیوازونیک اسید از طریق مهار سنتز پروتئین و اختلال در عملکردهای اساسی حشرات صورت می‌گیرد. آمارهای تجربی شاهد آن است که این ترکیب می‌تواند موجب بروز سمیت حاد، آسیب‌های جگر و تغییرات در سیستم معافیت گردد؛ موضوعی که نگرانی‌های جدی را در مورد اثرات بالقوه آن بر سلامت انسان و حیوان برانگیخته است (Escrivá et al., 2017; Fraeyman et al., 2017). مهم‌تر آنکه تأثیر پروسس مواد غذایی بر میزان این توکسین دوگانه است: در برخی موارد کاهش و در برخی دیگر افزایش یا ثبات غلظت آن گزارش شده است (Schaarschmidt & Fauhl-Hassek, 2018). با وجود این یافته‌ها، متأسفانه هنوز در بسیاری از کشورها مرز مجاز قانونی برای تیوازونیک اسید بنا نهاده نشده و این خلأ نظارتی، مدیریت خطر را با مشکلات مواجه ساخته است (Fraeyman et al., 2020; Puntscher et al., 2019).

با توجه به روند صعودی گزارش‌های شناسایی تیوازونیک اسید در اقلام غذایی و پیامدهای تهدیدکننده‌ی آن برای سلامت عمومی، به نظر می‌رسد دستیابی به درک نظام‌مند و همه‌جانبه از شیوع، منابع و اهمیت حفظ الصحوی این مایکوتوکسین، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. بر همین اساس، مطالعه حاضر با هدف مرور شواهد موجود در زمینه آلودگی مواد غذایی به تیوازونیک اسید، و اثرات حفظ الصحوی آن و تأکید بر لزوم تقویت نظام‌های نظارتی و تدوین راهبردهای نظارتی کارآمد، طراحی و اجرا شده است.

پیشینه تحقیق

مطالعه که در کشور هند روی ۴۸ نمونه کچالو انجام یافت، نشان می‌دهد که فنگس‌های جنس *Alternaria* موجود در نمونه‌ها توانایی تولید سموم را دارا اند. مقدار Tenuazonic acid در نمونه‌ها بین ۳۰،۰۰ تا ۴۱۷،۸۱ میکروگرام در هر ملی‌لیتر و مقدار Alternariol بین ۲۰،۰۰ تا ۹۷،۰۱

میکروگرام در هر میلی‌لیتر گزارش شده است. این یافته نشان می‌دهد که کچالو نیز می‌تواند در شرایط مناسب به فنگس‌های *Alternaria* آلوده شده و در نتیجه سموم تولیدشده توسط این فنگس‌ها در آن به وجود آید (Kumar et al., 2008). وی ابراز نظر می‌نماید که هند به دلیل تولید بیشتر محصولات زراعتی، با مشکل آلودگی مواد غذایی به سموم فنگسی روبه‌رو است و انواع مختلف مایکوتوکسین‌ها در محصولات زراعتی این کشور گزارش شده است (Pushparaj et al., 2023).

مطالعه دیگری که در ایتالیا، در سال ۲۰۱۶ روی مواد غذایی موجود در بازار انجام شد، بیان می‌دارد که *TeA* یکی از سموم مهم و دارای مقدار بلند در میان سموم تولیدشده توسط فنگس *Alternaria* بود. بیشترین مقدار *TeA* در یک نمونه پودر پاپریکا ۱۲۶۱۱٫۸ میکروگرام در هر کیلوگرام گزارش شد که از سطح ۱۰،۰۰۰ میکروگرام در هر کیلوگرام بیشتر بود. همچنان در بعضی محصولات؛ مانند پودر مرچ سرخ، شیرین بیان و تخم کتان، مقدار *TeA* بسیار زیاد بود و در بعضی نمونه‌ها تا ۹۹٫۸ درصد مجموع سموم اندازه‌گیری شده را تشکیل می‌داد (Patricia et al., 2016). این یافته‌ها نشان می‌دهد که بعضی ادویه‌ها و محصولات خشک نیز می‌توانند منبع مهم دریافت *TeA* باشند.

علاوه بر غله‌ها، بادنجان رومی، سیب و کچالو، در مورد مواد غذایی دیگر نیز تحقیقات انجام شده است. مطالعات نشان داده‌اند که *TeA* در بعضی محصولات؛ مانند انجیر خشک، دانه آفتاب‌پرست، آب‌میوه و بعضی مواد غذایی پروسس‌شده نیز پیدا شده است. در یک مطالعه در هالند، سموم تولیدشده توسط فنگس *Alternaria* در مواد غذایی مختلف بررسی شد و *TeA* در بعضی محصولات بادنجان رومی پروسس‌شده، انجیر خشک و دانه آفتاب‌پرست شناسایی گردید (Patricia et al., 2016). این یافته‌ها نشان می‌دهد که آلودگی به *TeA* تنها به محصولات تازه محدود نمی‌شود و بعضی مواد غذایی خشک و پروسس‌شده نیز می‌توانند آلوده شوند.

در یک مطالعه دیگر در چین، ۷۰ نمونه محصولات بادنجان رومی و ۸۶ نمونه محصولات مرکبات بررسی شد. نتایج نشان داد که *TeA* یکی از مهم‌ترین سموم شناسایی شده در کچاپ و آب بادنجان رومی بود. مقدار *TeA* در کچاپ بین ۱۰٫۲ تا ۱۷۸۷ میکروگرام در هر کیلوگرام و در آب بادنجان رومی بین ۷٫۴ تا ۲۷۸ میکروگرام در هر کیلوگرام گزارش شد (Ostry, 2008). این تحقیق نشان می‌دهد که محصولات بادنجان رومی پروسس‌شده می‌توانند از منابع مهم دریافت *TeA* باشند.

روش تحقیق

تحقیق حاضر از نوع مطالعات مروری بوده و با هدف بررسی جامع نقش تیوازونیک اسید در آلودگی مواد غذایی و پیامدهای بالقوه حفظ‌الصحوی آن صورت پذیرفته است. به‌این منظور، مقالات علمی

منتشر شده در سایت‌های معتبر بین‌المللی شامل *Google*، *Scopus*، *PubMed*، *Science Direct* و *Scholar* و *Springer Link* جستجو و گردآوری شدند. پروسه جستجو بر اساس پروتوکول مشخص و از قبل تعیین شده صورت گرفت که شامل تعیین پرسش تحقیق، انتخاب کلیدواژه‌های مرتبط و طراحی استراتژی جستجو بود.

کلیدواژه‌های مورد استفاده عبارت بودند از: «تیوازونیک اسید»، «فنگس‌های جنس *آلترناریا*»، «مایکوتوکسین‌ها»، «آلودگی مواد غذایی، مصونیت غذایی و حفظ‌الصحه عمومی». دامنه جستجو به مقالات منتشر شده در بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ محدود شده است.

معیارهای ورود به مطالعه شامل مقالات اصیل تحقیقی، مرورهای سیستماتیک و گزارش‌های معتبر منتشر شده به زبان انگلیسی بود که به موضوعاتی، مانند شناسایی منابع تولید تیوازونیک اسید، میزان و آلودگی مواد غذایی (به‌خصوص محصولات نباتی و به‌طور غیرمستقیم، فرآورده‌های حیوانی از طریق خوراک)، روش‌های تشخیص و اندازه‌گیری، اثرات زهرشناسی و پیامدهای حفظ‌الصحه پرداخته بودند. در مقابل، مطالعات غیرمرتبط، مقالات با آمارهای ناقص، پیش‌چاپ‌ها، چکیده‌های کنفرانسی و منابع فاقد اعتبار علمی لازم از مسیر بررسی دور شدند.

گزینش مقالات از طریق غربالگری مرحله‌به‌مرحله عناوین و خلاصه‌ها، بررسی متن کامل مقالات انتخاب شده و ارزیابی کیفیت علمی آن‌ها انجام گرفت. معیارهای ارزیابی کیفیت شامل اعتبار علمی منبع، طراحی مطالعه، حجم نمونه، روش‌های شناسایی و اندازه‌گیری تیوازونیک اسید (از جمله HPLC^۱ و LC-MS/MS^۲) و شفافیت در گزارش نتایج کمی و کیفی بود. در نهایت، اطلاعات استخراج شده از مطالعات واجد شرایط شامل نوع ماده غذایی، انواع فنگس‌های تولیدکننده تیوازونیک اسید (به‌خصوص انواعی *آلترناریا*)، محدوده غلظت گزارش شده، شرایط مؤثر بر بروز آلودگی و پیامدهای بالقوه حفظ‌الصحه بود.

روغنی و به‌خصوص محصول‌های مبتنی بر بادنجان رومی قابل‌توجه ارزیابی شده است (Ostry, 2013; Escrivá et al., 2017; Gruber-Dorninger et al., 2017).

یافته‌ها

1- High-Performance Liquid Chromatography.
2- High-Pressure Liquid Chromatography.

نتایج حاصل از بررسی منابع نشان داد که تیوازونیک اسید به عنوان یکی از مایکوتوکسین‌های نوظهور با اهمیت چشم‌گیر، عمدتاً توسط انواعی مختلف فنگس‌های جنس *آلترناریا* تولید شده و حضور گسترده در زنجیره تأمین غذای جهانی دارد. این زهر فنگسی در طیف وسیعی از مواد غذایی با منشأ نباتی گزارش شده و از مسیر خوراک آلوده، به طور غیرمستقیم به محصولات‌های حیوانی؛ مانند تخم مرغ، شیر و احشاء نیز راه می‌یابد. بیشترین آلودگی در غله‌ها و فرآورده‌های آن‌ها، میوه‌ها، سبزی‌ها، دانه‌های روغنی و به خصوص محصولات‌های مبنی بر بادنجان رومی قابل توجه ارزیابی شده است (Ostry, 2013; Escrivá et al., 2017; Gruber-Dorninger et al., 2017).

بررسی تحقیق‌های انجام شده در نقاط مختلف جهان حاکی از آن است که میزان آلودگی مواد غذایی به تیوازونیک اسید رابطه مستقیمی با شرایط نامساعد قبل و بعد از برداشت دارد. عواملی همچون رطوبت بالا، گرمای نامطلوب، آسیب‌های میخانیکی به نسج محصول، انبارنمودن طولانی مدت و فرآوری غیرمعیاری، بستر مناسبی برای رشد فنگس‌های *آلترناریا* و افزایش تولید تیوازونیک اسید فراهم می‌آورند و در نتیجه، نه تنها فساد مواد غذایی را تشدید می‌کنند، بلکه مستقیماً بر کیفیت و مصونیت آن‌ها تأثیر منفی از خود به جامی‌گذارند (da Cruz Cabral et al., 2016; Puntsher et al., 2018).

اختلال در عملکردهای حیاتی حجرات، طیف وسیعی از اثرات سوء را بر سلامت انسان و حیوان به دنبال دارد. شواهد حاصل از مطالعات لابراتواری مدل‌های حیوانی نشان داده‌اند که مواجه با تیوازونیک اسید با بروز سمیت حاد، آسیب‌های جگر، اختلالات هضمی و ضعیف جواب‌دهی معافیتی همراه است (Asam & Rychlik, 2013; EFSA, 2016; Ostry, 2013). آنچه این یافته‌ها را نگران‌کننده‌تر می‌کند، آن است که حتی مقدارهای پایین این مایکوتوکسین، در صورت تماس مزمن و مداوم، به ویژه در میان گروپ‌های آسیب‌پذیر چون کودکان، سال‌مندان و افراد دارای نقص معافیتی اند، می‌تواند خطراتی جدی به همراه داشته باشد. هرچند آمارهای مستقیم انسانی در این زمینه چندان گسترده نیست؛ اما نمی‌توان از احتمال بروز عوارض در اثر مصرف مستمر مواد غذایی آلوده چشم‌پوشی کرد (EFSA, 2016; Gruber-Dorninger et al., 2017).

بر اساس ارزیابی‌های خطر غذایی و آمارهای اپیدمیولوژیک موجود، مسیر اصلی مواجه شدن انسان با تیوازونیک اسید از طریق مصرف مکرری مواد غذایی آلوده و محصولات‌های پرورس شده نباتی است. تحقیق‌هایی که در مناطق مختلف جهان - از اروپا و آسیا تا آمریکای لاتین - انجام شده، حکایت از حضور هم‌زمان تیوازونیک اسید با سایر مایکوتوکسین‌های تولید شده توسط *آلترناریا* در اقلام غذایی دارد. این باهم‌بودن موضوعی است که نمی‌توان از آن غافل شد؛ چراکه احتمال بروز اثرات تجمعی

زهري را به دنبال دارد و ضرورت به کارگیری رویکرد ارزیابی خطر کلی را در نظام مدیریت امنیت غذایی بیش از پیش برجسته می سازد (Singh & Puntischer et al., 2018; Escrivá et al., 2017; Kumari, 2022).

یکی از مشکل های جدی که در این مرور به وضوح قابل ردیابی است، نبود حدود مجاز قانونی معین برای تیوازونیک اسید در اغلب کشورهای جهان است. برخلاف مایکوتوکسین های کلاسیک؛ مانند افلاتوکسین ها که چارچوب نظارتی منظمی برای آن ها تنظیم شده، تیوازونیک اسید همچنان در جمله مایکوتوکسین های نوظهور باقی مانده و آمارهای کافی برای تعیین معیارهای مشخص در دسترس نیست. با این حال، بررسی شواهد موجود به روشنی حاکی از آن است که گنجاندن نظارت تیوازونیک اسید در برنامه های ملی و جهانی (Asam & Rychlik, 2013; da Cruz Cabral et al., 2016; Gruber-Dorninger et al., 2017). کنترل مایکوتوکسین ها - به خصوص در مواد غذایی مستعد فساد، می تواند گامی مؤثر در جهت کاهش بار خطرات بالقوه برای سلامت عمومی باشد (جدول ۱).

جدول ۱: خلاصه خصوصیت های آلودگی، مسیرهای انتقال، تأثیرات و اهمیت عوامل بیماری زا در محصول های حیوانی

نمونه های رایج / موارد گزارش شده	محصول حیوانی مورد بررسی	تأثیر بر حیوان / محصول حیوانی	الگوی آلودگی / مسیر انتقال	تفسیر مکانیزم و اهمیت	منبع (ارجاع به مطالعات مرتبط)
کاهش عملکرد رشد در چوپه های گوشتی، ضعف در گاوهای شیری	گوشت (مرغ، گاو) و سلامت حیوان	کاهش مصرف خوراک، آسیب احتمالی به جگر و سیستم مصونیت حیوان.	انتقال از طریق خوراک آلوده: مصرف غلات، کنجاره و سیلوی آلوده به تیوازونیک اسید توسط حیوان.	تیوازونیک اسید در خوراک حیوان باعث کاهش بازدهی تولید می شود. تجمع مستقیم در بافت عضلانی کم گزارش شده؛ اما سلامت حیوان را تضعیف و کیفیت محصول نهایی را به طور غیرمستقیم کاهش می دهد.	مطالعات بر خوراک (Schatzmayr & Streit, 2013; Gruber-Dorninger et al., 2017; da Cruz Cabral et al., 2016).
شیر گاو و گوسفند (در معرض خوراک آلوده)	شیر و فرآورده های لبنی	احتمال حضور در شیر خام و محصولات لبنی.	انتقال احتمالی به شیر: دفع توکسین از بدن حیوان	به دلیل پایداری نسبی، تیوازونیک اسید ممکن است در شیر حیوان های آلوده نسج شود. این موضوع یک	مطالعات محدود در شیر (EFSA, 2016; Rychlik et al., 2016; Schaarschmidt &

Fauhl-Hassek, 2018).	خطر احتمالی مستقیم برای انسان است و نیاز به نظارت در شیر خام دارد.	از طریق شیر.			
مطالعات بر احشاء حیوان (Fraeyman et al., 2017; Puntsher et al., 2019; Ostry, 2013).	جگر و کلیه اعضای اصلی سم‌زدایی هستند. اگر تیوازونیک اسید به صورت متابولیت یا خود توکسین در آن‌ها تجمع یابد، مصرف این احشاء توسط انسان می‌تواند یک راه مستقیم انتقال باشد.	تجمع احتمالی در جگر و گرده.	افزایش بار زهر در اعضای خوراکی.	احشاء حیوان (جگر، گرده)	جگر گاو و مرغ
مطالعات بر پرندگان تخم‌گذار (Fraeyman et al., 2020; Escrivá et al., 2017; Asam & Rychlik, 2013).	شواهد قطعی از انتقال تیوازونیک اسید به تخم‌مرغ هنوز محدود است، اما به دلیل ساختار شیمیایی، امکان انتقال به زرده وجود دارد. این موضوع نیاز به بررسی بیشتر دارد.	انتقال احتمالی به تخم‌مرغ: از طریق خوراک آلوده مرغ مادر.	احتمال حضور در زرده یا سفیده تخم‌مرغ.	تخم مرغ	تخم مرغ مرغ‌های پرورشی.
مطالعات بر آبزیان پرورشی (Fraeyman et al., 2017; Chen et al., 2019; Zhao et al., 2021).	خوراک آبزیان نیز می‌تواند حاوی تیوازونیک اسید باشد. پایداری این توکسین در بدن ماهی و انتقال آن به انسان یک زمینه تحقیقاتی نوظهور است.	انتشار از طریق خوراک ماهی: آرد ماهی و مواد نباتی در جیره آبزیان.	تأثیر بر رشد و سلامت ماهی و احتمال باقی‌مانده در انساج.	ماهی پرورشی (مانند قزل‌آلا)	ماهی

طوری که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، منشأ تیوازونیک اسید در محصولات حیوانی ماهیت غیرمستقیم دارد. این ترکیب در اصل یک مایکوتوکسین با منشأ فنگسی نباتی محسوب می‌شود و به‌طور طبیعی در فرآورده‌های حیوانی تولید نمی‌گردد. در نتیجه، حضور و میزان تأثیر آن در این محصولات کاملاً وابسته به سطح آلودگی خوراک حیوانات و طیور است.

تأثیر تیوازونیک اسید بر فرآورده‌های حیوانی عمدتاً از دو مسیر قابل پیگیری است: نخست، اثرات آن بر سلامت و عملکرد حیوان که شامل کاهش رشد، تضعیف سیستم معافیتی و کاهش تولید (شیر و

تخم مرغ) می شود و در نهایت، کیفیت اقتصادی محصول نهایی را تحت تاثیر قرار می دهد. دوم، امکان انتقال و باقی ماندن زهر در انساج مختلف. در این زمینه، نگرانی جدی تر مربوط به انتقال تیوازونیک اسید به شیر است که به دلیل پایداری شیمیایی نسبتاً بالای این ترکیب، قابل تأمل به نظر می رسد. همچنین، احشاء به ویژه جگر ممکن است به عنوان محل تجمع این زهر عمل کنند. در مورد گوشت عضلانی، تخم مرغ و ماهی، شواهد مربوط به انتقال مستقیم چندان محکم نیست و برای روشن شدن ابعاد این موضوع، انجام تحقیقات تکمیلی ضروری به نظر می رسد

بحث و مناقشه

تحقیق حاضر با هدف بررسی نقش تیوازونیک اسید در آلودگی مواد غذایی و پیامدهای حفظ الصحوی ناشی از آن طراحی و اجرا شد. یافته های به دست آمده نشان می دهد که این ترکیب، به عنوان یکی از مایکوتوکسین های نوظهور با اهمیت، سهم قابل توجهی در آلودگی مواد غذایی و تهدید مسئولیت مصرف کنندگان در سطح جهانی دارد. گستردگی حضور تیوازونیک اسید در محصولات نباتی متنوع - از غلات و میوه ها گرفته تا سبزی ها و فراورده های مبتنی بر بادنجان رومی با نتایج تحقیقات بین المللی همسویی دارد و نشان می دهد که فنگس های جنس *آلترناریا* صرفاً عامل فساد موضعی نیستند، بلکه نقشی کلیدی در آلودگی گسترده زنجیره تأمین غذایی ایفا می کنند. این نشان دهنده، ضرورت توجه جدی تر به تیوازونیک اسید در کنار مایکوتوکسین های کلاسیک و بازنگری در اولویت های نظارتی را قبل از قبل نمایان می سازد (Ostry, 2013; Escrivá et al., 2017; Sotel-Cerón et al., 2023). بررسی عوامل مؤثر در بروز و تشدید آلودگی نشان داد که شرایط نامساعد قبل و پس از برداشت - از جمله رطوبت بالا، گرمای نامطلوب، آسیب های میخانیکی، تأخیر در خشک سازی، ذخیره طولانی مدت و روش های غیرمعیار تولید، نقش تعیین کننده در رشد فنگس های *آلترناریا* و افزایش تولید تیوازونیک اسید دارند. این عوامل به خصوص در کشورهای در حال توسعه، که زیرساخت های نگهداری و کنترل کیفیت با محدودیت مواجه است، تشدید شده و می تواند بار آلودگی را در سطح جمعیت انسانی و حیوانی افزایش دهد. از این منظر، نتایج تحقیق بر اجرای یکپارچه ی روش های خوب زراعتی (GAP^۳)، روش های خوب تولید (GMP^۴) و سیستم های تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی (HACCP^۵) به عنوان ابزارهای اساسی در کاهش آلودگی تأکید دارد (da Cruz Cabral et al., 2016; Puntischer et al., 2018).

³- Good Agricultural Practices

⁴- Good Agricultural Practices

⁵- Hazard Analysis and Critical Control Points

از نظر زهرشناسی، شواهد موجود حاکی از آن است که تیوازونیک اسید از طریق مهار ساخت پروتئین و ایجاد اختلال در مسیرهای حیاتی حجره، اعمال زهری خود را به‌نمایش می‌گذارد. نتایج مطالعات لابراتوری و حیوانی، اثرات نامطلوب این مایکوتوکسین بر جگر، دستگاه هضمی و سیستم معافیت را تأیید کرده و با ارزیابی‌های خطر انجام‌شده توسط نهادهای جهانی، به‌ویژه سازمان مصئونیت غذایی اروپا، همخوانی دارد. هرچند آمارهای کلینیکی انسانی همچنان محدود است؛ اما آنچه بیش از همه نگران‌کننده به‌نظر می‌رسد، مواجهه شدن با مقادیر اندک این ترکیب از طریق رژیم غذایی روزمره است؛ به‌ویژه در میان گروپ‌های آسیب‌پذیر؛ مانند کودکان، سالمندان و مبتلایان به بیماری‌های بستری که ممکن است پیامدهای تجمعی و درازمدتی را برای سلامت عمومی به همراه داشته باشد (Asam & Rychlik, 2013; EFSA, 2016).

نکته قابل‌توجه دیگری که در این مرور به‌چشم می‌خورد، پدیده‌ی هم‌زیستی تیوازونیک اسید با سایر مایکوتوکسین‌های تولیدشده توسط *آلترناریا* است. تحقیق‌ها نشان داده‌اند که این ترکیب اغلب به‌طور هم‌زمان با سمومی مانند الترناریول (AOH) و الترناریول مونومتایل اتر (AME) در مواد غذایی شناسایی شده است. این اثرات مشترک می‌تواند به بروز اثرات توده‌یی سمی بیانجامد، موضوعی که در ارزیابی‌های خطر سنتی - که معمولاً بر یک ترکیب واحد متمرکزند، به‌خوبی منعکس نمی‌شود. بنابراین، نتایج این مطالعه بر ضرورت گذار از رویکردهای کلاسیک به سمت ارزیابی خطر کتلوی و چندتوکسینی در بخش مصئونیت غذایی شدیداً تأکید می‌کند (Puntischer et al., 2018; Gruber-). (Dorninger et al., 2017).

در بخشی نظام‌های نظارتی، یکی از چالش‌های بنیادین که این تحقیق به‌خوبی نمایان می‌سازد، نبود حدود مجاز قانونی معین برای تیوازونیک اسید در بیشتر کشورهاست. با این‌که تیوازونیک اسید از سوی جلسه‌های علمی به‌عنوان یک مایکوتوکسین نوظهور شناسایی شده؛ اما کمبود آمارهای سم‌شناسی انسانی، ناهمگونی اطلاعات نظارتی و فقدان مطالعات، مواجهه شدن درازمدت، به‌کارگیری معیارهای لازم را با مشکلات مواجه کرده است. این خلأ نظارتی می‌تواند به کم‌توجه نسبت به خطرات بالقوه این ترکیب در برنامه‌های ملی مصئونیت غذایی منجر شود و لازم به سرمایه‌گذاری هدفمند در تحقیق‌های تکمیلی، نظارت نظام‌مند و توسعه چارچوب‌های قانونی مبتنی بر شواهد را قبل از قبل آشکار می‌سازد (EFSA, 2016; Ostry, 2013; Safavizadeh et al., 2024).

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این مطالعه مروری، تیوازونیک اسید به‌عنوان یکی از مایکوتوکسین‌های نوظهور با منشأ فنگس‌های جنس *آلترناریا*، نقش فزاینده در آلودگی مواد غذایی با منشأ نباتی و تهدید مصونیت غذایی در سطح جهانی ایفا می‌کند. شواهد گردآوری‌شده نشان می‌دهد که این مایکوتوکسین به‌طور مکرر در طیف گسترده‌یی از اقلام غذایی - به‌خصوص غله‌ها، میوه‌ها، سبزی‌ها و فرآورده‌های مبتنی بر بادنجان رومی - شناسایی می‌شود و می‌توان آن را آلوده‌کننده‌ی فراگیر، مگر پایدار در زنجیره تأمین غذایی به‌حساب آورد.

نتایج همچنین نشان می‌دهد که شرایط نامناسب در مراحل تولید، برداشت و نگهداری، از مهم‌ترین عوامل افزایش آلودگی به تیوازونیک اسید محسوب می‌شوند. با این حال، از طریق بهبود مدیریت زنجیره‌ی تأمین، اجرای هماهنگ روش‌های خوب زراعتی و تولید و کنترل مؤثر عوامل محیطی، می‌توان تا حد قابل‌توجه از میزان آلودگی و مواجهه مصرف‌کنندگان است.

از نظر زهرشناسی، شواهد موجود گویای آن است که تیوازونیک اسید با اختلال در ساخت پروتئین و عملکردهای حیاتی حجره، توان ایجاد اثرات زیان‌بار بر سلامت انسان را دارد. این نگرانی به‌خصوص در شرایط مزمن با مقدارهای کم و در گروپ‌های آسیب‌پذیرمانندی کودکان، سالمندان و افراد دارای نقص معافیتی، جدی‌تر می‌شود و ضرورت توجه به این مایکوتوکسین را در چارچوب صحت و سلامت عمومی برجسته می‌سازد.

با توجه به نبود حدود مجاز قانونی مشخص برای تیوازونیک اسید در بیشتری نظام‌های نظارتی، یافته‌های این مرور بر لزوم گنجاندن این ترکیب در برنامه‌های نظارت ملی و بین‌المللی مصونیت غذایی تأکید دارد. توسعه و به‌کارگیری روش‌های تحلیلی دقیق و حساس، انجام مطالعه‌های جامع‌تر در زمینه زهریت انسانی و مواجهه غذایی، توجه به ارزیابی خطر تجمعی در کنار سایر مایکوتوکسین‌های آلترناریا و تدوین معیارهای قانونی مبتنی بر شواهد علمی، از اولویت‌های اساسی برای کاهش خطرات بالقوه و ارتقای سطح مصونیت غذایی در آینده به‌شمار می‌رود.

پیشنهاده‌ها

بر اساس یافته‌های فوق، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

— گنجاندن تیوازونیک اسید در برنامه‌های ملی و منطقه‌ی نظارت مایکوتوکسین‌ها؛

- استفاده از روش‌های تحلیلی پیشرفته نظیر LC-MS/MS برای شناسایی و اندازه‌گیری دقیق این ترکیب؛
- رعایت اصول روش‌های خوب زراعتی و نگهداری محصولات به‌منظور کاهش رشد فنگسی و تولید مایکوتوکسین؛
- اجرای نظام‌های GMP و HACCP در واحدهای فرآوری مواد غذایی برای کنترل آلودگی فنگسی؛
- انجام تحقیقات تکمیلی در حوزه سم‌شناسی انسانی و ارزیابی خطر توده برای برآورد دقیق‌تر خطرهای.

سپاس‌گزاری

نویسنده بر خود فرض می‌داند که از تمامی اساتید، محققان و همکارانی که در روندی گردآوری منابع و تحلیل داده‌ها یاری رسانده‌اند، صمیمانه سپاس‌گزاری نماید. همچنین از مراکز علمی و سایت‌های معتبر داخلی و خارجی که دسترسی به منابع ارزشمند را ممکن ساخته‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود. در پایان، حمایت‌های معنوی خانواده و دوستان که در طول نوشتن این مقاله همواره منبع انگیزه و دلگرمی بودند، ابراز قدردانی می‌نمایم.

تضاد منافع

نویسنده اعلام می‌دارد که هیچگونه تضاد منافع مادی یا معنوی در ارتباط با انتشار این مقاله وجود ندارد.

منابع

- Aichinger, G., Del Favero, G., Warth, B., & Marko, D. (2021). *Alternaria* toxins—Still emerging? *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(5), 4390–4406 <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12803>.
- Asam, S., & Rychlik, M. (2013). Potential health hazards due to the occurrence of the mycotoxin tenuazonic acid in infant food. *European Food Research and Technology*, 236(3), 491–497 <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1901-x>.
- Barkai-Golan, R., & Paster, N. (Eds.). (2008). *Mycotoxins in fruits and vegetables*. Academic Press <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374126-4.00019-x>.
- Chen, A., Mao, X., Sun, Q., Wei, Z., Li, J., You, Y., & Zhao, Z. (2019). *Alternaria* mycotoxins: An overview of toxicity, metabolism, and analysis in food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(19), 5446–5463 <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00730>.
- Chen, S., & Qiang, S. (2017). Recent advances <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.01.003>.
- da Cruz Cabral, L., Terminiello, L. A., Pinto, V. F., Nielsen, K. F., & Patriarca, A. (2016). Natural occurrence of *Alternaria* mycotoxins in food and feed: A review. *World Mycotoxin Journal*, 9(5), 767–782 <https://doi.org/10.3920/WMJ2016.2052>.
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2016). Dietary exposure assessment to *Alternaria* toxins in the European population. *EFSA Journal*, 14(12), Article e04654 <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4654>.
- Escrivá, L., Oueslati, S., Font, G., & Manyes, L. (2017). *Alternaria* mycotoxins in food and feed: An overview. *Journal of Food Quality*, 2017, Article 1569748 <https://doi.org/10.1155/2017/1569748>.
- Fraeyman, S., Croubels, S., Devreese, M., & Antonissen, G. (2017). Emerging *Fusarium* and *Alternaria* mycotoxins: Occurrence, toxicity and toxicokinetics. *Toxins*, 9(7), Article 228 <https://doi.org/10.3390/toxins9070228>.
- Fraeyman, S., Croubels, S., Devreese, M., & Antonissen, G. (2020). Emerging *Fusarium* and *Alternaria* mycotoxins: Occurrence, toxicity and the need for monitoring. *Toxins*, 12(12), Article 764 <https://doi.org/10.3390/toxins12120764>.
- Gruber-Dorninger, C., Jenkins, T., & Schatzmayr, G. (2017). Global mycotoxin occurrence in feed: A ten-year survey. *Toxins*, 11(7), Article 375 <https://doi.org/10.3390/toxins11070375>.
- Hickert, S., Bergmann, M., Ersen, S., Cramer, B., & Humpf, H.-U. (2016). Survey of *Alternaria* toxin contamination in food from the German market, using a rapid HPLC-MS/MS approach. *Mycotoxin Research*, 32(1), 7–18. <https://doi.org/10.1007/s12550-015-0233-7>

- Kumar, V., Basu, M. S., & Rajendran, T. P. (2019). Mycotoxin production by *Alternaria* species isolated from potato in India. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1234–1242. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.12.011>
- Logrieco, A., Moretti, A., & Solfrizzo, M. (2009). *Alternaria* toxins and plant diseases: An overview of origin, occurrence and risks. *World Mycotoxin Journal*, 2(2), 129–140. <https://doi.org/10.3920/WMJ2009.1145> .
- López, P., Venema, D., de Rijk, T., & de Kok, A. (2016). Occurrence of *Alternaria* toxins in food products in Europe. *Food Control*, 60, 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.008>.
- Ostry V.(2008) *Alternaria* mycotoxins: an overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs
- <https://doi.org/10.3920/wmj2008.x013>
- Ostry, V. (2013). *Alternaria* toxins: An overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs. *World Mycotoxin Journal*, 6(2), 135–154. <https://doi.org/10.3920/WMJ2013.1621> .
- Ostry, V., Malir, F., Toman, J., & Grosse, Y. (2017). Mycotoxins as human carcinogens—the IARC Monographs classification. *Mycotoxin Research*, 33(1), 65–73. <https://doi.org/10.1007/s12550-016-0265-7>.
- Patricia L., et al. (2016). Occurrence of *Alternaria* toxins in food products in The Netherlands. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 9 (3), 215–221 <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.032>
- Puntscher, H., Cobankovic, I., Marko, D., & Warth, B. (2019). Quantitation of free and modified *Alternaria* mycotoxins in food and feed by LC–MS/MS. *Food Chemistry*, 276, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.121>.
- Puntscher, H., Kütt, M. L., Skrinjar, P., Mikula, H., Podlech, J., Fröhlich, J., & Warth, B. (2019). Tracking emerging mycotoxins in food: Development of an LC-MS/MS method for free and modified *Alternaria* toxins. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 411(22), 5611–5629. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01962-4> .
- Pushparaj, K., Meyyazhagan, A., Pappuswamy, M., Mousavi Khaneghah, A., Liu, W.-C., & Balasubramanian, B. (2023). Occurrence, identification, and decontamination of potential mycotoxins in fruits and fruit by-products. *Food Frontiers*, 4 (1), 32–46. <https://doi.org/10.1002/fft2.198>
- Rychlik, M., Lepper, H., Weidner, C., & Asam, S. (2016). Risk evaluation of the *Alternaria* mycotoxin tenuazonic acid in foods for adults and infants and subsequent risk management. *Food Control*, 68, 181–185. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.03.035> .
- Safavizadeh, V., Sher, A., Oliveira, C. A. F. D., Moore, M., Ghasemlou, M., Naderi-Manesh, H., ... & Tahergorabi, R. (2024). The occurrence of tenuazonic acid in food products: A systematic review. *Toxin Reviews*, 43(4), 453–462. <https://doi.org/10.1080/15569543.2024.2392118> .

- Safavizadeh, V., Sher, A., Oliveira, C. A. F., Moore, M. D., Ghasemlou, M., Naderi-Manesh, H., Nemati, M., Nokhodchi, A., Rostami, M., & Tahergorabi, R. (2024). The occurrence of tenuazonic acid in food products: A systematic review. *Toxin Reviews*, 43(4), 453–462. <https://doi.org/10.1080/15569543.2024.2392118>
- Schaarschmidt, S., & Fauhl-Hassek, C. (2018). The fate of *Alternaria* toxins during food processing. *Food Control*, 92, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.030>.
- Schatzmayr, G., & Streit, E. (2013). Global occurrence of mycotoxins in the food and feed chain: Facts and figures. *World Mycotoxin Journal*, 6(3), 213–222. <https://doi.org/10.3920/wmj2013.1572>.
- Singh, K., & Kumari, A. (2022). Emerging mycotoxins and their clinicopathological effects. In *Mycotoxins and mycotoxicoses* (pp. 65–104). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2370-8_4.
- Sotelo-Cerón, N. D., Martínez-Álvarez, J. C., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2023). Recent advances in the bioherbicidal potential of tenuazonic acid, an *Alternaria* spp. mycotoxin. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 67(3), 266–274. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v67i3.1994>.
- Wang, Y., Zhang, H., Yan, H., Yin, J., & Zhang, L. (2021). Occurrence and dietary exposure assessment of *Alternaria* toxins in cereals and cereal-based products. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 38(9), 1520–1533. <https://doi.org/10.1080/19440049.2021.1932230>.
- Zhao, K., Shao, B., Yang, D., & Li, F. (2021). Natural occurrence of *Alternaria* toxins in food and feed in China and their influences on food safety. *Food Control*, 130, Article 108397. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108397>.
- Zwickel, T., Kahl, S. M., Klaffke, H., & Rychlik, M. (2016). A comprehensive approach for the detection of *Alternaria* toxins in tomato products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(21), 4377–4386. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01235>.