نشریه تازه ها در میکروب‌شناسی دامپزشکی
وبگاه: nfvm.uoz.ac.ir
فصلنامه - شاپا چاپی: ۲۶۴۵-۴۴۹۱ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۵۰۰۴

دوره ۹، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، صفحات ۳۲- ۳۹

بررسی غلظت آفلاتوکسین M1 و تغییرات جغرافیایی آن در شیر خام شهرستان‌های استان خراسان جنوبی در زمستان ۱۴۰۴

حجت‌اله صالحی‌تبار[۱]، محمد رهنما[۲*]، مجید علیپور[۲]، داریوش سعادتی[۲]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی ، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه زابل.
۲- گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه زابل، زابل

***نویسنده مسئول:** دکتر محمد رهنما، ایمیل : dr_m_rahnama@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۵ مهر ۱۴۰۵، بازنگری: ۰۲ آبان ۱۴۰۵، پذیرش نهایی: ۰۱ آذر ۱۴۰۵

10.22034/nfvm.2026.616417.1341

چکیده

آفلاتوکسین M1 (AFM1)، متابولیت اصلی آفلاتوکسین B1 در شیر، به‌دلیل پایداری حرارتی در فرآیندهای متداول فرآوری و پتانسیل سرطان‌زایی، از شاخص‌های مهم ایمنی غذایی محسوب می‌شود. این مطالعه‌ی مقطعی با هدف تعیین غلظت AFM1، ارزیابی انطباق آن با حدود مجاز ملی و بین‌المللی و بررسی تغییرات جغرافیایی آلودگی در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی در زمستان ۱۴۰۴ انجام شد. در مجموع، ۹۶ نمونه شیر خام از واحدهای صنعتی (۴۸ نمونه)، سنتی (۳۹ نمونه) و مراکز جمع‌آوری (۹ نمونه) در ۹ شهرستان جمع‌آوری و با آزمون الایزای رقابتی بررسی شدند. میانگین غلظت AFM1 برابر با ۴۵/۶۷ نانوگرم در لیتر (ppt) (دامنه: ۵/۲ تا ۲۴۰) بود. میانگین غلظت در واحدهای صنعتی، سنتی و مراکز جمع‌آوری به‌ترتیب ۳۶/۶۸، ۵۴/۴۷ و ۵۲/۱۹ نانوگرم در لیتر بود و تفاوت معنی‌داری بین این سه گروه مشاهده نشد (H=۱/۳۳، P=۰/۵۱۳). در مقابل، غلظت AFM1 بین شهرستان‌ها تفاوت معنی‌داری داشت (H=۳۴/۳۱، P<۰/۰۰۱)؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین میانگین در دَرمیان (۱۴۶) و خوسف (۱۱۳/۲۲) و کم‌ترین مقدار در قائنات (۱۰/۳۹) مشاهده شد. تمامی نمونه‌ها با حد مجاز ملی و کدکس (۵۰۰ نانوگرم در لیتر) مطابقت داشتند، اما ۲۰/۸ درصد از آن‌ها از حد مجاز اتحادیه اروپا (۵۰ نانوگرم در لیتر) فراتر رفتند. این ناهمگنی شهرستانی ممکن است با تفاوت در زنجیره‌ی تأمین و شرایط نگهداری خوراک مرتبط باشد؛ با این‌حال، بررسی این عوامل نیازمند مطالعات تکمیلی است. توسعه‌ی نظام پایش مبتنی بر ریسک و بررسی الگوهای پراکنش مکانی آلودگی می‌تواند به شناسایی مناطق نیازمند توجه بیش‌تر و هدفمند کردن اقدامات کنترلی کمک کند.

واژگان کلیدی: *آفلاتوکسین M1، شیر خام، پراکندگی جغرافیایی، آزمون الایزا، خراسان جنوبی*

مقدمه

شیر و فرآورده‌های لبنی در سبد غذایی جوامع نقش پایه‌ای در تأمین پروتئین حیوانی با ارزشِ زیستی بالا، املاح معدنی به‌ویژه کلسیم و فسفر، و ریزمغذی‌های ضروری دارند و سرانه مصرف مطلوب آن‌ها از ارکان اساسی سلامت عمومی ارزیابی می‌شود (۱). با وجود این ارزش تغذیه‌ای بی‌بدیل، ماهیت فسادپذیر و حساسیت بالای شیر ایجاب می‌کند که زنجیره‌ی تولید تا مصرف آن از هرگونه آلاینده زیستی و شیمیایی محافظت گردد (۲). در بین آلاینده‌های شیمیایی منشأگرفته از طبیعت، سموم قارچی یا مایکوتوکسین‌ها جایگاه ویژه‌ای در ارزیابی مخاطرات بهداشتی دارند.

آفلاتوکسین M1 (AFM1) ترکیب هیدروکسیله و متابولیت فعال آفلاتوکسین B1(AFB1) است که بر اثر بلع خوراک کپک‌زده و آلوده به قارچ‌های جنس *Aspergillus* (عمدتاً *A. flavus* و *A. parasiticus*) در دستگاه گوارش دام جذب، در کبد دگرگون و در نهایت وارد ترشحات غدد پستانی می‌شود (۳, ۴). مهم‌ترین ویژگی نگران‌کننده‌ی این توکسین، پایداری حرارتی چشمگیر آن در مواجهه با فرآیندهای متداول صنعتی نظیر پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون و حتی از فرآیندهای بیوشیمیایی تخمیر است؛ خصوصیتی که سبب می‌شود حذف آن از فرآورده‌ی نهایی با فرآیندهای رایج کارخانه‌ای عملاً ناممکن باشد (۵). آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC)، این ترکیب را در زمره‌ی عوامل قطعی سرطان‌زای انسانی (گروه ۱) طبقه‌بندی کرده است؛ چراکه مواجهه‌ی مزمن با دوزهای پایین آن علاوه‌بر سمیت کبدی و تضعیف توان دفاعی و ایمنی بدن، پیامدهای جهش‌زایی غیرقابل جبرانی بر سلامت مصرف‌کننده به بار می‌آورد (۶).

اقلیم گرم و خشک استان خراسان جنوبی، با چالش‌هایی همچون شرایط خاص انبارداری و وابستگی واحدهای دامداری به تأمین نهاده‌های دامی (ذرت، جو و کنجاله‌ها) از مبادی ورودی و فواصل دوردست روبه‌رو است؛ وضعیتی که مدیریت زنجیره‌ی تأمین و پیشگیری از رشد قارچ‌های مولد توکسین را نیازمند نظارت و پایش مستمر می‌سازد. انتقال این محموله‌ها در فواصل طولانی و دپوی آن‌ها در انبارهای منطقه‌ای، به‌ویژه در فصل زمستان که با افت دما، نوسانات رطوبتی درون انبارها و عدم تهویه‌ی اصولی همراه است، شرایط ایده‌آلی برای رشد کلونی‌های قارچی و تولید مقادیر بالای B1(AFB1) در بستر خوراک فراهم می‌سازد (۷, ۸).

در نظام‌های کنترل کیفی، اگرچه استاندارد ملی ایران و کدکس بین‌المللی سقف ۵۰۰ نانوگرم در لیتر (۵۰۰ppt) را به‌عنوان حد مجاز شیر پذیرفته‌اند، استانداردهای سخت‌گیرانه‌تر جهانی همچون اتحادیه اروپا، مرز احتیاطی را بر روی ۵۰ نانوگرم در لیتر (۵۰ppt) تنظیم کرده‌اند تا جامعه از مواجهه‌ی مزمن در امان بماند (۹). با توجه به فقدان داده‌های مقطعی جامع از توزیع مکانیِ این آلاینده در سطح استان خراسان جنوبی، این پژوهش با هدف تعیین شیوع و غلظت آفلاتوکسین M1، بررسی انطباق با موازین ملی و بین‌المللی، مقایسه سامانه‌های تولیدی مختلف، و واکاوی فرضیه‌ی پراکندگی جغرافیایی آلودگی در زمستان ۱۴۰۴ به مرحله‌ی اجرا درآمد تا نقشه‌ی راهی برای مراقبت‌های فعال و مبتنی بر ریسک توسط نهادهای بهداشتی مهیا شود.

مواد و روش‌ها

طرح مطالعه و جامعه آماری: این مطالعه به صورت مقطعی-توصیفی و به‌منظور بررسی شیر خام ورودی به زنجیره‌ی مصرف در زمستان سال ۱۴۰۴ طراحی گردید. جامعه آماری شامل کلیه مراکز نگهداری و استحصال شیر در ۹ شهرستان استان خراسان جنوبی (بیرجند، خوسف، قائنات، فردوس، بشرویه، طبس، سرایان، دَرمیان و سربیشه) بود. حجم کل نمونه‌ها بر اساس تراکم واحدهای دامی و حجم تولید شیر خام و ظرفیت‌های میدانی، ۹۶ نمونه تعیین گردید.

تفکیک سامانه‌های تولید و اخذ نمونه‌ها: نمونه‌ها به‌منظور ارزیابی نقش ساختار پرورشی، به سه گروه متمایز تقسیم شدند:

الف) گاوداری‌های صنعتی دارای پروانه رسمی و ساختار مکانیزه دوشش (n=۴۸).

ب) گاوداری‌های سنتی و نیمه‌صنعتی روستایی (n=۳۹).

ج) مراکز و سکوهای جمع‌آوری شیر که محل تجمیع تولیدات چندین دامداری خُرد هستند (n=۹).

نمونه‌برداری پس از همگن‌سازی کامل مخازن ذخیره، درون ظروف پلی‌اتیلنی استریل و عاری از هرگونه آلودگی شیمیایی صورت پذیرفت. جهت تثبیت ساختار پروتئینی و ممانعت از دگرگونی توکسین، نمونه‌ها بلافاصله در مجاورت یخ در دمای ۴ درجه سلسیوس قرار گرفت و طی حداکثر ۲۴ساعت به آزمایشگاه مرجع منتقل و تا زمان انجام آزمون در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

آزمون آزمایشگاهی (سنجش با کیت الایزا): سنجش غلظت (AFM1) با استفاده از روش آزمون ایمونواسی متصل به آنزیم رقابتی (Competitive ELISA) و به‌کارگیری کیت تشخیصی Bio-Shield M1 ES صورت گرفت. نمونه‌ها پس از خروج از شرایط انجماد و رسیدن استانداردهای کیت (غلظت‌های ۰، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ نانوگرم) به دمای اتاق، آماده‌سازی شدند؛ سپس ۱۰۰میکرولیتر از محلول‌های استاندارد و همچنین ۱۰۰ میکرولیتر از نمونه‌های آماده‌شده به چاهک‌های میکروپلیت افزوده شد. پس از پوشاندن پلیت با چسب مخصوص، محتویات چاهک‌ها به آرامی مخلوط و پلیت برای مدت ۴۵دقیقه در دمای اتاق انکوبه گردید. پس از پایان مرحله‌ی گرم‌خانه‌گذاری، محلول موجود در چاهک‌ها تخلیه و چاهک‌ها با استفاده از محلول شستشو چندین بار شسته شدند تا مواد غیرمتصل حذف گردد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از محلول کونژوگه یا Detection Solution به هر چاهک افزوده شد. پلیت مجدداً پوشانده شده و پس از مخلوط شدن ملایم، به‌مدت ۱۵دقیقه در دمای محیط نگهداری شد. پس از این مرحله نیز شستشوی چاهک‌ها به‌منظورحذف مواد اضافی تکرار گردید.

در ادامه ۱۰۰ میکرولیتر از محلول سوبسترای TMB(′۵،۵،۳،۳ تترامتیل‌بنزیدین) به هر چاهک اضافه شد و پلیت برای مدت ۱۵دقیقه در محیط تاریک قرار گرفت. در این مرحله واکنش آنزیمی باعث ایجاد رنگ آبی در چاهک‌ها شد که شدت آن به مقدار آفلاتوکسین موجود در نمونه وابسته است. برای توقف واکنش، ۱۰۰ میکرولیتر محلول متوقف‌کننده به هر چاهک افزوده شد که در نتیجه رنگ محلول از آبی به زرد تغییر یافت.

حد تشخیص (Limit of Detection) کیت مورد استفاده بر اساس مشخصات فنی آن ۵ نانوگرم در لیتر تعیین شده بود. در مواردی که مقدار آفلاتوکسین M1 در نمونه‌ها کم‌تر از حد تشخیص گزارش می‌شد، به‌منظور حفظ داده‌ها در تحلیل‌های آماری و جلوگیری از بروز سوگیری در برآورد میانگین داده‌ها، مقدار نصف حد تشخیص (۲/۵ نانوگرم در لیتر) برای این نمونه‌ها در نظر گرفته شد. این روش یکی از رویکردهای متداول در مدیریت داده‌های کم‌تر از حد تشخیص در مطالعات مربوط به اندازه‌گیری آلاینده‌ها و سموم در مواد غذایی محسوب می‌شود (۹).

تحلیل داده‌های آماری: پس از انجام مراحل واکنش و افزودن محلول متوقف‌کننده، جذب نوری چاهک‌ها در طول موج ۴۵۰ نانومتر توسط دستگاه ELISA Reader اندازه‌گیری شد. سپس داده‌های حاصل از جذب نوری استانداردها و نمونه‌ها وارد نرم‌افزار(Prognosis Data Reader (Version ۷/۴/۲ گردید. این نرم‌افزار با استفاده از مقادیر استاندارد و نسبت B/Bo، منحنی کالیبراسیون را ترسیم کرده و نتایج نهایی غلظت آفلاتوکسین M1 به‌صورت نانوگرم در لیتر (ng/L)، که از نظر عددی معادل ppt است، محاسبه و گزارش گردید.

تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. به‌منظور مقایسه‌ی غلظت آفلاتوکسین M1 بین گروه‌های مختلف منابع جمع‌آوری شیر و همچنین شهرستان‌های

مورد مطالعه، با توجه به توزیع غیرنرمال داده‌ها، از آزمون ناپارامتریک کروسکال–والیس استفاده شد. نتایج به‌صورت میانگین، انحراف‌معیار، حداقل و حداکثر گزارش شدند. سطح معنی‌داری آماری کم‌تر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. ($p<۰/۰۵$)

نتایج

در مجموع ۹۶ نمونه شیر خام گردآوری‌شده، میانگین حسابیِ غلظت آفلاتوکسین ۴۵/ ۶۷ ppt محاسبه شد.

توزیع مکانی آلودگی در شهرستان‌ها: بررسی داده‌ها بر حسب موقعیت جغرافیایی نشان داد که تفاوت بسیار بارزی میان شهرستان‌های مختلف استان از حیث بار آلودگی وجود دارد (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه میزان آفلاتوکسین(ppt) بر حسب شهرستان

شهرستان	تعداد نمونه اخذ شده	میانگین آفلاتوکسین	انحراف معیار آفلاتوکسین	حداقل آفلاتوکسین	حداکثر آفلاتوکسین
بشرویه	۸	۴۶/۳۹	۲۸/۹۸	۱۵/۶	۱۰۶
بیرجند	۲۴	۲۹/۸۱	۴۳/۹۶	۲/۵	۲۲۱
درمیان	۳	۱۴۶	۱۹/۶۱	۱۲۶/۸	۱۶۶
فردوس	۱۱	۴۳/۵۱	۳۶/۸۹	۱۱/۶	۱۱۶/۴
خوسف	۱۶	۱۱۳/۲۲	۹۵/۵۸	۲/۵	۲۴۰
قائنات	۱۳	۱۰/۳۹	۱۸/۰۷	۲/۵	۶۶
سرایان	۹	۱۸/۶۸	۶/۱۱	۲/۵	۲۲/۴
سربیشه	۲	۳۳/۶۵	۷/۵۷	۲۸/۳	۳۹
طبس	۱۰	۱۹/۹۴	۲۷/۷۱	۵/۱	۹۵/۹
تست آماری: کروسکال_والیس		آماره آزمون (H): ۳۴/۳۱		مقدار P: کمتر از ۰/۰۰۱	

بیش‌ترین میانگین آلودگی با فاصله‌ی چشمگیر در شهرستان دَرمیان با ۱۹/۶۱ ppt ± ۱۴۶ و پس از آن در شهرستان خوسف با ۹۵/۵۸ ppt ± ۱۱۳/۲۲وکم‌ترین میانگین آلودگی متعلق به شهرستان‌های قائنات با ppt ۱۸/۰۷ ± ۱۰/۳۹و سرایان با ۶/۱۱ ppt ± ۱۸/۶۸بود.

شهرستان سربیشه با انحراف‌معیار ۷/۵۷ نانوگرم در لیتر، کم‌ترین میزان پراکندگی را در میان شهرستان‌های مورد مطالعه به خود اختصاص داد که نشان‌دهنده‌ی بالاترین سطح تجانس در غلظت آفلاتوکسین M1 در نمونه‌های برداشت شده است و شهرستان خوسف به‌دلیل تنوع طیف نمونه‌ها، دارای بالاترین انحراف‌معیار ۹۵/۵۸ ppt بود.

آزمون کروسکال_والیس نشان داد که غلظت آفلاتوکسین M1 بین شهرستان‌های مورد بررسی تفاوت آماری معنی‌داری دارد. این یافته بیانگر تفاوت در سطح آلودگی شیر خام در شهرستان‌های مختلف استان است.

ارزیابی مراکز مختلف تولید شیر: بررسی نمونه‌ها با توجه به مراکز مختلف تولید شیر در استان نشان داد که میانگین غلظت در گاوداری‌های صنعتی برابر با ۵۱/۵۵ ppt ± ۳۶/۶۸ ، در گاوداری‌های غیرصنعتی/سنتی معادل ppt ۶۶/۵۸ ± ۵۴/۴۷ و در مراکز جمع‌آوری شیر ۸۱/۳۵ ppt ± ۵۲/۱۹ بوده است (جدول ۲).

جدول۲- مقایسه میانگین میزان آفلاتوکسین در واحدهای صنعتی، غیر صنعتی و مراکز جمع آوری شیر(ppt)

منابع جمع آوری شیر	تعداد نمونه اخذ شده	میانگین آفلاتوکسین	انحراف معیار آفلاتوکسین	حداقل آفلاتوکسین	حداکثر آفلاتوکسین
گاوداری های صنعتی	۴۸	۳۶/۶۸	۵۱/۵۵	۲/۵۰	۲۴۰
گاوداری های غیر صنعتی(سنتی)	۳۹	۵۴/۴۷	۶۶/۵۸	۲/۵۰	۲۳۹
مراکز جمع آوری شیر	۹	۵۲/۱۹	۸۱/۳۵	۲/۵۰	۲۱۰
تست آماری: کروسکال_والیس		آماره آزمون (H): ۱/۳۳		مقدار P: برابر ۰/۵۱۳	

هرچند میانگین عددی گاوداری‌های صنعتی پایین‌تر از دو گروه دیگر بود، اما اجرای آزمون کروسکال_والیس نشان داد که این اختلاف از لحاظ آماری معنادار نبوده و تفاوت ساختاری معناداری میان منابع جمع‌آوری شیر مشاهده نمی‌شود. که می‌تواند بیانگر وجود عوامل مشترک تأثیرگذار بر تمامی این واحدها در زنجیره‌ی بالادستی باشد.

وضعیت انطباق با حدود مجاز استاندارد: سنجش وضعیت غلظت نمونه‌ها در مقایسه با ضوابط بهداشتی مصوب نتایج زیر را نشان داد:

تمامی ۹۶ نمونه (۱۰۰درصد) در دامنه‌ای کاملاً ایمن و پایین‌تر از سقف مجاز کشور قرار داشتند. حداکثر غلظت کل نمونه‌ها (۲۴۰ppt)

تعداد ۷۶ نمونه (۷۹/۱۷ درصد) پایین‌تر از ۵۰ نانوگرم در لیتر بودند و انطباق داشتند؛ اما ۲۰ نمونه (۲۰/۸۳ درصد) سطحی بالاتر از این حد سخت‌گیرانه اتحادیه اروپا را نشان دادند.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که شیر خام تولیدی در استان خراسان جنوبی در زمستان ۱۴۰۴ با میانگین کل ۴۵/۶۷ ppt، از نظر شاخص‌های مصوب سازمان ملی استاندارد ایران و کدکس بین‌المللی در وضعیت ایمن قرار دارد. با این‌حال، بالا بودن غلظت توکسین در ۲۰/۸۳ درصد از نمونه‌ها نسبت به سقف ۵۰ نانوگرم اتحادیه اروپا، هشداری برای حوزه سلامت باشد چرا که شیر به‌عنوان ماده‌ی پایه‌ای مصرف روزانه در رژیم غذایی گروه‌های پرخطر جامعه تلقی می‌گردد (۱۰).

نکته تحلیلی بسیار حائز اهمیت در این داده‌ها، عدم وجود تفاوت آماری معنادار میان سامانه‌های تولیدی صنعتی، سنتی و مراکز جمع‌آوری شیر است. در دیدگاه‌های رایج مدیریتی اغلب فرض بر این است که واحدهای صنعتی به سبب برخورداری از ساختار مهندسی، جیره‌ی متوازن و نظارت‌های بهداشتی، همواره بار آلودگی کم‌تری نسبت به بخش سنتی دارند. با این‌حال، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در اقلیم‌های خشک و کویری نظیر خراسان جنوبی، عامل بنیادین در تعیین بار آلودگی، ماهیت کالبدی یا نوع پروانه بهره‌برداری دامداری نیست؛ بلکه الگوی زنجیره‌ی تأمین، کیفیت حمل‌ونقل و پایش شرایط انبارداری خوراک دام است واحدهای صنعتی به سبب مقیاس بزرگ تولید، متکی بر انباشت تُناژ بالای کنسانتره، ذرت و کنجاله‌ها در سیلوها هستند. در شرایط اقلیمی زمستان، نوسانات حرارتی شب و روز می‌تواند به پدیده‌ی میعان سطحی و افزایش رطوبت موضعی در توده‌های انبارشده بینجامد؛ پدیده‌ای که در صورت نقص در سیستم‌های تهویه و پایش رطوبت، بستری ایده‌آل برای

کلونیزاسیون گونه‌های *Aspergillus* و سنتز فعالِ مایکوتوکسین‌ها فراهم می‌سازد. در نتیجه، این رخداد موجب انتقال مستقیم آفلاتوکسین B1 به شیر و هیدروکسیلاسیون آن به متابولیت پایدار M1 می‌گردد. از این‌رو، تمرکز صِرف بر صنعتی‌سازی بدون استقرار سامانه‌های پایش ریسک زیستی (مانند کنترل نقاط بحرانی در انبارها)، مصونیتی در برابر آلاینده‌های قارچی ایجاد نخواهد کرد.

در نقطه مقابل، وجود پراکندگی جغرافیایی بسیار معنادار در میان شهرستان‌ها (آماره آزمون =۳۴/۳۱ ، P<۰/۰۰۱). ابعاد جدیدی از نحوه توزیع آلودگی را نمایان می‌سازد.

دلایل این پراکندگی جغرافیایی را می‌توان در متغیرهای زیر جستجو کرد:

۱. الگوهای حمل و نقل و کانال‌های تأمین نهاده: اگرچه در پژوهش حاضر متغیرهای مرتبط با الگوهای لجستیکی و نحوه‌ی تأمین نهاده‌ها به‌صورت مستقیم مورد پایش قرار نگرفتند، اما بر اساس الگوهای مشاهده‌شده، می‌توان این فرضیه را مطرح نمود که تفاوت در ساختار زنجیره تأمین و نحوه مدیریت ذخیره‌سازی خوراک در سطح شهرستان‌ها می‌تواند عامل تعیین‌کننده‌ای باشد.

به‌عنوان یک فرضیه‌ی تحلیلی، ممکن است شهرستان‌هایی با سطوح آلودگی بالاتر (مانند درمیان و خوسف)، متأثر از خریدهای مقطعی یا انبارش طولانی‌مدت نهاده‌ها در شرایط محیطی نامساعد باشند؛ در حالی‌که در مناطقی با سطوح پایین‌تر آلودگی (نظیر قائنات)، احتمالا گردش سریع‌تر خوراک یا دسترسی به منابع تازه، مانع از شکل‌گیری توده‌های کپکی شده است. اثبات این فرضیه و واکاوی سهم ((مدیریت لجستیک)) در میزان بار آلودگی شیر، نیازمند مطالعات میدانی تکمیلی با تمرکز بر زنجیره‌ی تأمین نهاده‌های دامی در سطح استان می باشد.

۲. شرایط انبارداری و شکل‌گیری نقاط گرم در توده خوراک: تفاوت در نحوه‌ی مدیریت نگهداری نهاده‌ها و انبارداری طولانی‌مدت در شرایط غیراستاندارد (از نظر رطوبت و تهویه‌ی نامناسب)، می‌تواند سبب ایجاد نقاط گرم (Hot Spots)در توده‌ی خوراک شده و واکنش‌های قارچی و سنتز مایکوتوکسین‌ها را در برخی نواحی تشدید کند (۸). هرچند پایش مستقیم انبارها خارج از دامنه‌ی این پژوهش مقطعی بوده است، اما این عامل می‌تواند به‌عنوان یکی از محرک‌های احتمالی در تفاوت بار آلودگی مناطق مد نظر قرار گیرد.

این پراکندگی جغرافیایی ایجاب می‌کند که سیستم‌های پایش سنتی مبتنی بر بازرسی‌های دوره‌ای و یکنواخت، جای خود را به سامانه پایش مبتنی بر ریسک (Risk-based Surveillance) بدهند (۱۱).

پژوهش حاضر نشان داد که اگرچه تمام نمونه‌های شیر خام با استاندارد ملی ایران مطابقت داشتند، بیش از ۲۰ درصد آن‌ها دارای غلظت AFM1 بالاتر از حد مجاز اتحادیه اروپا بودند؛ موضوعی که ضرورت تداوم و تقویت برنامه‌های کنترلی را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که صنعتی بودن دامداری به‌تنهایی تضمین‌کننده‌ی کاهش آلودگی نیست، نظارت بر شرایط نگهداری غلات و علوفه، پایش مکانی مناطق پرخطر و تقویت غربالگری شیر در مراکز جمع‌آوری و تحویل، می‌تواند در کنترل آلودگی و پیشگیری از ورود محموله‌های آلوده به زنجیره‌ی تولید لبنیات مؤثر باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری و مساعدت کارکنان محترم ادارات دامپزشکی شهرستان‌های استان خراسان جنوبی و همچنین دامداران گرامی که با همکاری و در اختیار قرار دادن نمونه‌های شیر، در اجرای این پژوهش مشارکت داشتند، صمیمانه قدردانی می‌شود. بدون همراهی و حمایت این عزیزان، انجام این تحقیق امکان‌پذیر نبود.

References

1. **Fallah AA, Rahnama M, Jafari T, Saei-Dehkordi SS**. Seasonal variation of aflatoxin AFM1 contamination in industrial and traditional Iranian dairy products. Food Control. 2011;22(10):1653-6.
2. **Iqbal SZ, Jinap S, Pirouz AA, Ahmad Faizal AR**. Aflatoxin M1 in milk and dairy products, occurrence and recent challenges: a review. Trends Food Sci Technol. 2015;46(1):110-9.
3. **Bennett JW, Klich M. Mycotoxins**. Clin Microbiol Rev. 2003;16(3):497-516.
4. Gallo A, Giuberti G, Frisvad JC, Bertuzzi T, Nielsen KF. Aflatoxin M1 contamination in dairy milk: a review. Dairy. 2022;3(1):41.
5. **Liu Y, Wu F**. Global burden of aflatoxin-induced hepatocellular carcinoma: a risk assessment. Environ Health Perspect. 2010;118(6):818-24.
6. **Giovati L, Magliani W, Ciociola T, Santinoli C, Conti S, Polonelli L**. AFM1 in milk: physical, biological, and prophylactic methods to mitigate contamination. Toxins (Basel). 2015;7(10):4330-49.
7. **Magan N, Medina A, Aldred D**. Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre- and postharvest. Plant Pathol. 2011;60(1):150-63.
8. **Rezaei F, Mohammadi J, Taheri N**. Effect of storage conditions on fungal contamination and aflatoxin levels in animal feed. Iran J Anim Sci Res. 2017;8(1):77-86. [In Persian]
9. **Hornung RW, Reed LD**. Estimation of average concentration in the presence of nondetectable values. Appl Occup Environ Hyg. 1990;5(1):46-51.
10. **Prandini A, Tansini G, Sigolo S, Filippi L, Laporta M, Piva G**. On the occurrence of aflatoxin M1 in milk and dairy products. Food Chem Toxicol. 2009;47(5):984-91.
11. **Williams JH, Phillips TD, Jolly PE, Stiles JK, Jolly CM, Aggarwal D**. Human aflatoxicosis in developing countries: a review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions. Am J Clin Nutr. 2004;80(5):1106-22.

New Findings in Veterinary Microbiology
Homepage: nfvm.uoz.ac.ir
Quarterly - Print ISSN: 2645-4491 Online ISSN: 2676-5004

Volume 9, Issue 3, Autumn 2026, pages: 32-39

Assessment of Aflatoxin M1 Contamination and Geographic Variation in Raw Milk Across South Khorasan Province, Iran

Hojjatollah Salehi-Tabar[1], Mohammad Rahnama*[2], Majid Alipour[2], Dariush Saadati[2]

1- M.Sc. Graduate in Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Veterinary Medicine, University of Zabol, Zabol, Iran.
2- Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, University of Zabol, Zabol, Iran.

***Corresponding author:** Mohammad Rahnama, DVM, PhD; Email: dr_m_rahnama@yahoo.com

Receive: October 07, 2026; Revise: October 24, 2026; Accept: November 22, 2026

10.22034/nfvm.2026.616417.1341

Abstract

Aflatoxin M1 (AFM1), the principal metabolite of aflatoxin B1 in milk, is an important food safety indicator because of its thermal stability during conventional processing and its carcinogenic potential. This cross-sectional study aimed to determine AFM1 concentrations, assess compliance with national and international limits, and investigate geographic variations in contamination across counties of South Khorasan Province, Iran, during winter 2025–2026. In total, 96 raw milk samples were collected from industrial farms (n=48), traditional farms (n=39), and milk collection centers (n=9) across nine counties and analyzed using a competitive ELISA. The overall mean AFM1 concentration was 45.67 ng/L (ppt) (range: 2.5–240). Mean concentrations in industrial farms, traditional farms, and collection centers were 36.68, 54.47, and 52.19 ng/L, respectively, with no statistically significant difference among the three groups (H=1.33, P=0.513). In contrast, AFM1 concentrations differed significantly among counties (H=34.31, P<0.001). The highest mean concentrations were observed in Darmian (146 ng/L) and Khusf (113.22 ng/L), whereas the lowest was recorded in Qaenat (10.39 ng/L). All samples complied with the national and Codex maximum limit (500 ng/L); however, 20.8% exceeded the European Union limit (50 ng/L). This county-level heterogeneity may be associated with variations in feed supply chains and storage conditions, although further studies are needed to investigate these factors. Developing a risk-based monitoring system and investigating the spatial distribution patterns of contamination may help identify areas requiring greater attention and support more targeted control measures.

Keywords: *Aflatoxin M1, Raw milk, Geographic Variation, ELISA assay, South Khorasan.*