

مرور سیستماتیک مقدار آفلاتوکسین M₁ در شیرهای عرضه شده در ایران

بهادر حاجی محمدی^a، کاوه دماوندی کمالی^a، مریم ابراهیمی^a، عماد احمدی آرا^b، مجتبی رئیسی^{a*}

^a مرکز تحقیقات سلامت فرآورده های غذایی، دارویی و طبیعی، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، ایران
^b گروه پاتوبیولوژی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تخصصی فناوری های نوین آمل، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۰۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۵/۱۷

۶۱

چکیده

مقدمه: کپک زدگی و آلودگی به آفلاتوکسین در خوراک دام ها، نهایتاً منتهی به آلودگی شیر مصرفی انسان به سم سرطانزای آفلاتوکسین می گردد. با توجه به اهمیت سم آفلاتوکسین در بهداشت عمومی، در این مرور سیستماتیک به ارزیابی مقدار سم آفلاتوکسین در شیرهای مصرفی در ایران پرداخته شد.

مواد و روش ها: کلیه مقالات مرتبط با سنجش و ارزیابی مقدار سم آفلاتوکسین M₁ در شیرهای مصرفی در ایران که در مجلات علمی با فرایند داوری همتا منتشر شده اند بر اساس معیار های تحقیق مورد جستجو و بررسی قرار گرفتند. مقالات بین المللی در داده پایگاه های علمی ملی و بین المللی جستجو شده و نهایتاً مورد آنالیز آماری با نرم افزار SPSS قرار می گیرند.

یافته ها: درصد آلودگی بیش از حد مجاز در نمونه های شیر، از ۰٪ تا ۱۰۰٪ متغیر بود. بیشترین درصد آلودگی، مربوط به نمونه های شیر پاستوریزه در شهر بابل بود؛ به طوری که همه (۱۰۰٪) نمونه های شیر پاستوریزه در بابل، آلوده به مقادیر بیش از حد مجاز آفلاتوکسین طبق استاندارد ملی ایران (۱۰۰ نانوگرم در لیتر) بودند. به طور میانگین ۲۰٫۱٪ از نمونه های شیر ایران آلوده به مقادیر بیش از حد مجاز آفلاتوکسین طبق استاندارد ایران (۱۰۰ نانوگرم در لیتر) بودند. درصد آلودگی بیش از حد مجاز طبق استاندارد اروپا (۵۰ نانوگرم در لیتر) برابر با ۳۰٫۴٪ به دست آمد.

نتیجه گیری: نتایج ارزیابی خطر آفلاتوکسین در شیر مصرفی در ایران بر اساس مرور سیستماتیک تحقیقات پیشین نشان داد که از نظر مقادیر بیش از حد مجاز سم آفلاتوکسین در شیر اگرچه خطری متوجه سلامت بزرگسالان نیست، اما تحت شرایطی ممکن است خطری بالقوه برای سلامت کودکان باشد و لذا باید مورد بررسی و مطالعه بیشتر قرار گیرد.

واژه های کلیدی: آفلاتوکسین، ایران، سلامت غذا، شیر

مقدمه

آفلاتوکسین از جمله مهم‌ترین سموم قارچی بوده که نگرانی‌های زیادی در عرصه بهداشت عمومی در بسیاری از کشورهای جهان ایجاد کرده است. برآورد شده است که حدود پنج میلیارد نفر در جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه و یا توسعه نیافته، در معرض خطر مواجهه با آفلاتوکسین هستند. اثرات سمی آفلاتوکسین‌ها به اشکال گوناگونی شامل سرطان کبد، اختلال رشد کودکان، تضعیف سیستم ایمنی، و ... دیده می‌شوند (Abrar و همکاران، ۲۰۱۳؛ Ismail و همکاران، ۲۰۱۸؛ Motarjemi و همکاران، ۲۰۱۴).

آفلاتوکسین B₁ مهم‌ترین و شایع‌ترین نوع آفلاتوکسین است که عمدتاً توسط کپک‌های جنس آسپرژیلوس شامل آسپرژیلوس فلاووس، آسپرژیلوس پارازیتیکوس و در موارد اندکی نیز آسپرژیلوس نومیوس تولید می‌شود. آسپرژیلوس فلاووس معمولاً فقط آفلاتوکسین B₁ را تولید می‌کند. آسپرژیلوس پارازیتیکوس، به غیر از آفلاتوکسین B₁ انواع دیگر آفلاتوکسین‌های B₁، G₁ و G₂ را نیز تولید می‌کند که البته سه مورد اخیر، شیوع و اهمیت بهداشتی بسیار کمتری دارند (Caballero و همکاران، ۲۰۱۶).

رشد کپک در انواع علوفه و نهاده‌های دامی، سبب تولید آفلاتوکسین B در آنها می‌شود. پس از تغذیه دام‌های شیری (گاو، گوسفند، بز، و ...) با خوراک آلوده، سم آفلاتوکسین B در کبد حیوانات هیدروکسیله شده و ظرف مدت ۱۲ ساعت پس از تبدیل به آفلاتوکسین M وارد شیر آنها می‌شود. بنابراین کپک‌زدگی و آلودگی به آفلاتوکسین در خوراک دام‌ها، نهایتاً منتهی به آلودگی شیر مصرفی انسان می‌گردد. (Iqbal و همکاران، ۲۰۱۵؛ Ketney و همکاران، ۲۰۱۷). در صورت تداوم تغذیه دام با خوراک آلوده، آلودگی شیر کماکان ادامه پیدا می‌کند. اما در صورت قطع مصرف خوراک آلوده، آفلاتوکسین ظرف ۴۸ تا ۷۲ ساعت به طور کامل از شیر خارج خواهد شد. حدود ۰٫۳٪ تا ۶٫۲٪ (میانگین ۵٪) از آفلاتوکسین B₁ موجود در علوفه کپک‌زده، تبدیل به آفلاتوکسین M₁ شده و وارد شیر حیوان می‌گردد (Ghaffarian و همکاران، ۲۰۱۹؛ Iqbal و همکاران، ۲۰۱۵؛ Ketney و همکاران، ۲۰۱۷؛ Motarjemi و همکاران، ۲۰۱۴؛ Womack و همکاران، ۲۰۱۶).

یکی از عمده‌ترین دلایلی که کنترل آفلاتوکسین در شیر را مشکل کرده است، مقاومت حرارتی بسیار زیاد این سم بوده که به دلیل نقطه ذوب بالای آن است. به طوری که پاستوریزاسیون و حتی استریلیزاسیون شیر در کارخانجات لبنی نیز قادر به نابودی این سم نیست (Becker-Algeri و همکاران، ۲۰۱۶؛ Iqbal و همکاران، ۲۰۱۵؛ Prandini و همکاران، ۲۰۰۹). حد مجاز آفلاتوکسین M₁ در شیر، طبق استاندارد اتحادیه اروپا، سازمان غذا و داروی آمریکا و سازمان ملی استاندارد ایران به ترتیب برابر با ۵۰، ۵۰ و ۱۰۰ نانوگرم در لیتر است (Caballero و همکاران، ۲۰۱۶).

آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان، آفلاتوکسین B₁ و M₁ را به عنوان گروه ۱ ترکیبات سرطان‌زا طبقه‌بندی کرده است (Iqbal و همکاران، ۲۰۱۵؛ Ismail و همکاران، ۲۰۱۶؛ Ketney و همکاران، ۲۰۱۷؛ Womack و همکاران، ۲۰۱۶). از جمله دلایل توجه زیاد به سمیت آفلاتوکسین M₁ آنست که این سم، سلامت غذای گروه‌های سنی در معرض خطر را تهدید می‌کند. چرا که اطفال در گروه سنی در معرض خطر قرار داشته و شیر، پرمصرف‌ترین بخش سبد غذایی آنها را تشکیل می‌دهد (Iqbal و همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین با توجه به اهمیت سم آفلاتوکسین در بهداشت عمومی، در این مرور سیستماتیک به ارزیابی مقدار سم آفلاتوکسین در شیرهای مصرفی در ایران پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، از روش مرور سیستماتیک برای جمع‌آوری اطلاعات و منابع علمی در خصوص وضعیت آلودگی به سم آفلاتوکسین در شیرهای مصرفی در ایران استفاده شد. کلیه مقالات مرتبط با سنجش و ارزیابی مقدار سم آفلاتوکسین M₁ در شیرهای مصرفی در ایران که در مجلات علمی با فرایند داوری هم‌تا منتشر شده‌اند مورد جستجو و بررسی قرار گرفتند.

مقالات بین‌المللی در داده پایگاه‌های آنلاین PubMed، Scopus، ISI Web of Science و ISC جستجو شدند. همچنین برای یافتن مقالات فارسی، داده پایگاه‌های Magiran، Iran Medex و SID مورد جستجو قرار گرفتند. عملیات جستجوی کلیه مقالات فارسی و

انگلیسی بین بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۲ (و سال‌های میلادی معادل) انجام پذیرفت.

کلمات کلیدی مورد استفاده برای جستجو در داده پایگاه‌های بین‌المللی عبارت بودند از "Mycotoxins"، "Aflatoxins"، "Aflatoxin"، "Mycotoxin"، "Aflatoxin M₁"، "Aflatoxin M"، "Dairy"، "Milk"، "Iran" و "Iranian". به علاوه، برای جستجو در داده پایگاه‌های فارسی از کلمات کلیدی "مایکوتوکسین"، "آفلاتوکسین"، "آفلاتوکسین M₁"، "آفلاتوکسین M"، "شیر"، "لبنیات"، "لبنی" و "ایران" استفاده شد. جستجوی دستی در پایگاه Google Scholar نیز به طور تکمیلی صورت پذیرفت و مقالات تکراری حذف شدند.

از بین صدها مقاله کاملی که کلید واژگان مزبور در عنوان، چکیده و یا کلمات کلیدی آنها وجود داشت، مقالاتی که چهار معیار اختصاصی ورود به مطالعه را داشتند انتخاب شدند. معیارهای ورود به مطالعه عبارت بودند از (۱) موضوع مقاله پیرامون سنجش سم آفلاتوکسین M₁ در شیر گاو تولیدی در ایران باشد، (۲) مقاله به صورت کامل و تحقیقی بوده و از نوع توصیفی - مقطعی باشد، (۳) منطقه جغرافیایی محل نمونه برداری (شهر یا استان) به طور دقیق و مشخص در مقاله ذکر شده باشد، (۴) درصد موارد آلودگی بیش از حد مجاز آفلاتوکسین در نمونه‌های شیر، طبق حد مجاز استاندارد ملی ایران معادل ۱۰۰ نانوگرم در لیتر ذکر شده باشد و یا از نتایج مندرج در متن کامل مقاله، قابل استخراج باشد. کلیه مقالاتی که با این پنج معیار ورود، منطبق نبودند از فهرست خارج شدند.

ابتدا عنوان و چکیده مقالات به دست آمده، مورد بررسی قرار گرفت و سپس کلیه منابع مورد استفاده در هر مقاله، به منظور یافتن مقالات مرتبط ارزیابی شد. داده‌های مورد نیاز، با مطالعه متن کامل مقالات منتخب و درج در دو فرم مجزا استخراج شدند. فرم اول به منظور ثبت تعداد نمونه شیر، محل (شهر/استان) نمونه برداری، نوع شیر اعم از خام یا حرارت دیده، روش آنالیز آزمایشگاهی، و زمان انتشار مقاله بود. در فرم دوم، داده‌های مربوط به دامنه آلودگی به آفلاتوکسین، درصد موارد آلودگی بیشتر از حد

مجاز، جزئیات داده‌های تحقیق و نتیجه‌گیری کلی نویسندگان ثبت شد.

در مرحله اول تعداد ۸۴ مقاله یافت شد که از بین آنها فقط در محتوی ۴۷ مقاله، درصد آلودگی بیش از حد مجاز آفلاتوکسین بر اساس استاندارد ملی ایران (۱۰۰ نانوگرم در لیتر)، قابل محاسبه بود. در سایر مقالات فقط درصد آلودگی شیرها طبق استاندارد اروپا، قابل استنتاج بود. ملاک ارزیابی آلودگی به آفلاتوکسین در این تحقیق، صرفاً حد مجاز تعیین شده توسط سازمان ملی استاندارد ایران است؛ از این رو نهایتاً ۴۷ مقاله، حائز کلیه شرایط ورود به مطالعه بوده که ۱۵ مقاله به زبان فارسی و ۳۲ مقاله به زبان انگلیسی بودند.

برای آنالیز آماری نتایج به دست آمده از مقالات، از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. داده‌ها با استفاده از آزمون Chi-Square و آزمون Z آنالیز شدند. سطح معناداری برابر با ۰,۰۱ در نظر گرفته شد. به طوری که هرگاه عدد پی از ۰,۰۱ کمتر باشد، حاکی از اختلاف آماری معنادار بین پارامترها است.

یافته‌ها

بر اساس ۴۷ مقاله علمی منتشر شده مجموعاً تعداد ۴۶۶۴ نمونه شیر از ۲۰ استان مختلف کشور از نظر آلودگی به آفلاتوکسین مورد سنجش قرار گرفتند. برآوردها نشان داد که میانگین حجم (تعداد) نمونه شیر در هر تحقیق، برابر با ۹۹,۲ عدد بود.

درصد آلودگی بیش از حد مجاز در نمونه‌های شیر، از ۰٪ تا ۱۰۰٪ متغیر بود (جدول شماره ۱). بیشترین درصد آلودگی، مربوط به نمونه‌های شیر پاستوریزه در شهر بابل بود؛ به طوری که همه (۱۰۰٪) نمونه‌های شیر پاستوریزه در بابل، آلوده به مقادیر بیش از حد مجاز آفلاتوکسین طبق استاندارد ملی ایران (۱۰۰ نانوگرم در لیتر) بودند. به طور میانگین ۲۰,۱٪ از نمونه‌های شیر ایران آلوده به مقادیر بیش از حد مجاز آفلاتوکسین طبق استاندارد ایران (۱۰۰ نانوگرم در لیتر) بودند. درصد آلودگی بیش از حد مجاز طبق استاندارد اروپا (۵۰ نانوگرم در لیتر) برابر با ۳۰,۴٪ به دست آمد.

جدول ۱- درصد آلودگی بیش از حد مجاز آفاتوکسین در شیرهای ایران طبق استاندارد ملی ایران (۱۰۰ نانوگرم در لیتر)

Table 1- Percentage of Milk Samples Exceeding the Maximum Aflatoxin Level in Iran According to the Iranian National Standard (100 ng/L)

	City	Percentage of Milk Exceeding Maximum Aflatoxin Level (≥100 ng/L, Iranian National Standard)	Reference
1	Babol	100%	Sefidgar et al. (2011)
2	Arak	94.4%	Rezaei et al. (2015)
3	Qom	87.5%	Rezaei et al. (2014)
4	Khoy	52.3%	Sanatgar & Aghazadeh (2017)
5	Gilan	51%	Najafian & Najafian (2015)
6	Kerman	50%	Ganjeizadeh et al. (2011)
7	Sanandaj	40%	Ahmadi (2020)
8	Tabriz	37.7%	Movaegh & Adinehvand (2013)
9	West Azerbaijan	29.5%	Tajik et al. (2016)
10	Quchan	29.4%	Ghaedi & Mohamadi (2013)
11	Qazvin	27.5%	Fallah et al. (2015)
12	Tehran	24.7%	Heshmati & Milani (2010)
13	Tabriz	20%	Movassagh (2011)
14	Karaj	20%	Mashak et al. (2016)
15	Sanandaj	19.4%	Kohzadi et al. (2019)
16	Tehran	16%	Mahmoodi et al. (2019)
17	Semnan	15.8%	Moeinian et al. (2013)
18	Sari	15.7%	Mohammadi et al. (2016)
19	Shahrud	15.4%	Moeinian & Rastgoo (2014)
20	Isfahan, Yazd	12.9%	Fallah (2010)
21	Mazandaran	12%	Gholipour et al. (2012)
22	Shahriar	9.7%	Moradi et al. (2017)
23	Mazandaran	6.2%	Golestan & Rahimi (2019)
24	Qazvin	5%	Ghajarbeygi et al. (2016)
25	Yazd	1.6%	Fallah et al. (2016)
26	Fars	0%	Hashemi (2016)
27	Fariman	0%	Riahi et al. (2015)
28	Ahvaz	0%	Behfar et al. (2012)
29	Bojnord	0%	Kermani et al. (2019)
30	Rafsanjan	0%	Akrami et al. (2015)
31	Khuzestan	0%	Norouzi & Kazemi (2014)
32	Mashhad	0%	Mohamadi et al. (2012)
33	Tehran	0%	Riazipour et al. (2010)
34	Maragheh	0%	Ansari et al. (2019)
35	Yazd	0%	Yahya Raeiat et al. (2017)
36	Tabriz	0%	Montazer Herzend et al. (2019)
37	Tabriz	0%	Farshi et al. (2017)
38	Birjand	0%	Barikbin et al. (2015)
39	Behbahan	0%	Ghasemian (2019)
40	Fariman	0%	Riahi & Balali (2013)
41	Isfahan	0%	Rasti Ardakani et al. (2018)
42	Tehran	0%	Khaneghahi et al. (2019)

بیشترین میانگین درصد آلودگی بیش از حد مجاز آفاتوکسین طبق استاندارد ملی ایران (۱۰۰ نانوگرم در لیتر) به ترتیب در استان‌های مرکزی (۹۴,۴٪)، کرمانشاه (۹۲,۱٪)، قم (۸۷,۵٪)، گیلان (۵۱٪)، آذربایجان غربی (۴۰,۹٪)، مازندران (۳۳,۴٪)، کردستان (۲۹,۷٪)، کرمان (۲۵٪)، و قزوین (۲۳,۱٪) گزارش شد. میانگین درصد آلودگی در این ۹ استان یاد شده بالاتر از میانگین کل کشور (۲۰,۱٪) بود. تصویر شماره ۱ میانگین درصد آلودگی بیش از حد مجاز آفاتوکسین طبق استاندارد ملی ایران در شیر استان‌های مختلف کشور را نشان می‌دهد.

تا به امروز در تحقیقات مختلف در کشور ما، دو نوع مختلف شیر خام و شیر حرارت دیده، از نظر مقدار آلودگی بیش از حد مجاز به آفاتوکسین مورد بررسی قرار گرفته‌اند. شیر خام، به شیری گفته می‌شود که هیچ‌گونه فرایند حرارتی اعم از پاستوریزاسیون یا استریلیزاسیون روی آن انجام نشده است. منظور از شیر حرارت دیده، شیرهایی است که در کارخانجات لبنی، حرارت داده شده و معمولاً در قالب بسته بندی‌های تجاری به صورت انواع شیر پاستوریزه و یا شیر فرا دما (استریلیزه) روانه بازار می‌شوند. میانگین درصد آلودگی بیش از حد مجاز طبق استاندارد ملی ایران

آلودگی به آفاتوکسین در شیرهای خام به طور معناداری ($p < 0.01$) بیشتر از شیرهای حرارت دیده، بود.



شکل ۱- میانگین درصد آلودگی بیش از حد مجاز آفاتوکسین طبق استاندارد ملی ایران (۱۰۰ نانوگرم در لیتر) در نمونه‌های شیر در استان‌های ایران.

شیرهای تولیدی، به طور قابل توجهی بالا بود. به نظر می‌رسد این موضوع ناشی از رطوبت زیاد این دو استان ساحلی بوده که شرایط محیطی را برای افزایش کپک‌زدگی و تولید سم در علوفه و خوراک دامی مساعد می‌کند. زیرا ثابت شده است که میزان کپک‌زدگی خوراک و علوفه در مناطق معتدل و مرطوب، معمولاً بیشتر از مناطق خشک و یا نیمه خشک است و نتایج مطالعات انجام شده در کشور ما نیز چنین شواهدی را تأیید می‌کند (Ghaffarian و همکاران، ۲۰۱۹؛ Hajimohammadi و همکاران، ۲۰۱۷). به طوری که در بین مطالعات انجام شده در شهرهای مختلف ایران، بالاترین درصد آلودگی بیش از حد

مجاز آفاتوکسین، مربوط به نمونه‌های شیر مصرفی در شهر بابل واقع در استان مازندران بوده است. در پژوهش Sefidgar و همکاران (۲۰۱۱) مشخص شد که ۱۰۰٪ نمونه‌های شیر پاستوریزه در شهر بابل دارای مقادیر بیش از حد مجاز آفاتوکسین طبق استاندارد ملی ایران (۱۰۰ نانوگرم در لیتر) بودند. نکته بسیار مهم آنست که پژوهش دیگری که پیشتر در همین شهر توسط گروه دیگری از محققان انجام شد عیناً همین نتایج را نشان داده و حاکی از آن بود که ۱۰۰٪ شیرهای پاستوریزه و استریلیزه در شهر بابل دارای مقادیر بیش از حد مجاز آفاتوکسین طبق استاندارد ملی ایران بودند (Gholampour Azizi و همکاران، ۲۰۰۷). در همین راستا مطالعه‌ای در سال ۱۳۹۴ نمایانگر آلودگی ۵۱٪ از نمونه‌های شیر در کارخانجات استان گیلان به مقادیر بیش از حد مجاز آفاتوکسین طبق استاندارد ملی ایران بود (Najafian و Najafian، ۲۰۱۵). این تحقیقات نشان‌دهنده شیوع زیاد آلودگی در استان‌های مرطوب شمال کشور است و بنابراین در آن مناطق، روش‌های کنترل این خطر بهداشتی باید به طور جدی مورد توجه قرار گیرد.

البته به غیر از استان‌های شمالی کشور، در مناطق کوهستانی و یا خشک ایران نیز درصد آلودگی بیش از حد مجاز به آفاتوکسین، در برخی از نمونه‌های شیر قابل توجه بوده است (Hajimohammadi و همکاران، ۲۰۲۱). اگرچه در مناطق مرطوب شمال کشور، احتمال رشد کپک، بیشتر است اما در سایر مناطق کشور نیز ممکن است علوفه مصرفی دام‌ها دچار کپک‌زدگی شوند. زیرا رطوبت محیط گاوداری، تنها یکی از عوامل دخیل در آلودگی علوفه به سم آفاتوکسین به شمار می‌رود و البته دلایل دیگری نیز وجود دارند. از این رو نه فقط در استان‌های مرطوب، بلکه در استان‌های خشک و مناطق با رطوبت اندک نیز آلودگی شیر به سم آفاتوکسین محتمل است. چرا که در بعضی از مناطق خشک، دسترسی به علوفه تازه در گاوداری‌های صنعتی محدود بوده و گاهی تغذیه با خوراک سیلو شده‌ای که آلوده به کپک است، زمینه‌ساز آلودگی شیر می‌گردد (Ghaffarian و همکاران، ۲۰۱۹). استفاده احتمالی از نان خشک ضایعاتی در تغذیه گاوهای شیری (به ویژه در دامداری‌های سنتی)، زمینه را برای تشدید آلودگی فراهم می‌کند. نکته درخور توجه، آنست که آلودگی خوراک دامی

به آفاتوکسین، لزوماً به منطقه جغرافیایی محل گاوداری وابسته نیست. زیرا در مجموع، کپک‌زدگی و تولید سم در خوراک دامی گاهی در داخل دامداری و گاهی خارج دامداری رخ می‌دهد. به عبارت دیگر، پاره‌ای اوقات کپک‌زدگی خوراک دام‌ها به علت انبارداری نامناسب علوفه در داخل دامداری‌ها رخ می‌دهد و برخی از مواقع نیز خوراک دام، قبل از رسیدن به دامداری و طی مراحل چرخه تولید و توزیع، دچار کپک‌زدگی می‌شود. در مورد کپک‌زدگی و آلودگی در داخل محیط دامداری، رطوبت منطقه جغرافیایی اهمیت زیادی دارد. اما بسیاری از مواقع، نهاده‌های دامی نظیر ذرت، کنسانتره، و ... از استان‌های دیگر وارد محل گاوداری می‌شوند. در این موارد نقش ارگان‌های مسئول در خصوص نظارت بهداشتی بر نحوه حمل و نقل و توزیع نهاده‌ها از مبداء به مقصد اهمیت زیادی پیدا می‌کند. این وضعیت در مورد نهاده‌های دامی (به ویژه ذرت) وارداتی از کشورهای دیگر نیز صادق است. بنابراین اگرچه کنترل رطوبت محل ذخیره‌سازی خوراک و علوفه در داخل دامداری، از اهمیت زیادی برخوردار است، اما طبیعتاً کنترل آلودگی‌های پیش آمده در خارج از دامداری، در اختیار دامداران نیست. اساساً به همین علت است که به غیر از استان‌های مرطوب شمالی کشور، در سایر استان‌های خشک، نیمه خشک و یا کوهستانی نیز میانگین درصد آلودگی نمونه‌های شیر به مقادیر بیش از حد مجاز آفاتوکسین طبق استاندارد ملی ایران، قابل توجه بوده است.

برای تخمین و برآورد میزان مواجهه افراد جامعه با یک سم، باید محاسبات مربوط به ارزیابی خطر و تعیین شاخص خطر (HI) انجام شود. مقدار HI از طریق تقسیم کردن عدد مقدار برآورد دریافت روزانه (EDI) بر عدد مقدار قابل تحمل روزانه (TDI) به دست می‌آید. اگر مقدار عدد HI کمتر از ۱ باشد، نشان می‌دهد که سم مورد نظر برای مصرف کنندگان آن ماده غذایی هیچ خطری ندارد. اما اگر عدد HI بیشتر از ۱ باشد، مؤید آنست که سلامت مصرف کنندگان در معرض خطر ناشی از آن سم قرار دارد (Ghaffarian و همکاران، ۲۰۱۹؛ Mozaffari Nejad و همکاران، ۲۰۱۹). از بین پنج مقاله علمی که تا کنون در زمینه ارزیابی خطر آفاتوکسین در شیر مصرفی در ایران انجام شده است، چهار مورد بیانگر نبود خطر سرطان در

بزرگسالان ایرانی و نیز یک مورد مؤید وجود خطر ابتلا به سرطان در بزرگسالان ایرانی بوده است. در مقاله‌ای که جهت ارزیابی خطر آفاتوکسین با احتساب میانگین وزن ۷۰ کیلوگرم برای بزرگسالان ایرانی و میانگین سرانه مصرف شیر برابر با ۸۷٫۶ لیتر در سال (۲۴۰ میلی لیتر در روز) انجام شد، مشخص گردید که میزان HI برای بزرگسالان ایرانی کمتر از ۱ بوده است. به طوری که در مورد بزرگسالان ایرانی، مقادیر HI برای مصرف شیر خام، شیر پاستوریزه، و شیر فرا دما (استریلیزه) به ترتیب برابر با ۰٫۲۶، ۰٫۲۸، و ۰٫۵ بود (Rahmani و همکاران، ۲۰۱۸). از آنجا که شاخص HI برای بزرگسالان ایرانی کمتر از ۱ به دست آمده است، لذا این ارقام نشان می‌دهد که در وضعیت فعلی مقادیر سم آفاتوکسین موجود در شیرهای تولیدی در ایران، هیچ‌گونه خطری برای سلامتی مصرف کنندگان بزرگسال ایرانی ندارد. این موضوع در ارزیابی خطر انجام گرفته توسط Moghaddam و همکاران (۲۰۱۹) نیز اعلام شد و نویسندگان این مقاله اظهار کردند که در حال حاضر هیچ‌گونه خطری در خصوص ابتلا به سرطان کبد در اثر آفاتوکسین موجود در شیرهای تولیدی در کشور وجود ندارد. یافته‌های یک تحقیق دیگر نشان داد که شاخص HI برای مصرف شیر توسط بزرگسالان ساکن در استان همدان برابر با ۰٫۵۳ بوده و هیچ خطری در خصوص احتمال ابتلا به سرطان کبد برای بزرگسالان وجود ندارد؛ با این حال این محققان اعلام کردند که در این زمینه پیرامون کودکان و اطفال ممکن است نگرانی‌هایی وجود داشته باشد (Mozaffari Nejad و همکاران، ۲۰۱۹). اما نتایج کاملاً متفاوتی طی ارزیابی خطر در استان‌های غربی کشور (کرمانشاه، ایلام، همدان و کردستان) به دست آمد. به طوری که شاخص HI در مورد شیر و لبنیات مصرفی توسط بزرگسالان ساکن در غرب کشور در فصول مختلف سال متفاوت بوده و در تابستان و زمستان به ترتیب برابر با ۰٫۸۸ و ۱٫۴۶ بود (Bahrami و همکاران، ۲۰۱۶). این ارقام نشان می‌دهد که در استان‌های غربی ایران، آلودگی به آفاتوکسین در شیر و لبنیات تولیدی در فصل زمستان، از حد قابل تحمل بالاتر رفته و احتمالاً به عنوان یک فاکتور خطر دخیل در ابتلای ساکنان غرب ایران به سرطان کبد در نظر گرفته می‌شود. اگرچه نتایج ارزیابی خطر در خصوص آفاتوکسین موجود در لبنیات مصرفی در

استان‌های غربی کشور قدری نگران کننده به نظر می‌رسد، اما به نظر می‌رسد که این موضوع قابل تعمیم به کل کشور نیست. به ویژه اینکه محاسبات ارزیابی خطر انجام گرفته توسط Pardakhti و Maleki (۲۰۱۹) حاکی از آن بود که مقادیر آفاتوکسین موجود در شیرهای ایران، قادر به ایجاد سرطان در بزرگسالان (با میانگین وزن برابر با ۷۰ کیلوگرم) نبوده و هیچ‌گونه خطری در این زمینه وجود ندارد. می‌توان با استناد به میانگین کل کشور که در سطور پیشین ذکر شد چنین نتیجه گرفت که در مجموع با عنایت به سرانه نه چندان زیاد مصرف شیر در کشور، بزرگسالان ایرانی در معرض خطر آفاتوکسین موجود در شیر نیستند و فعلاً جای نگرانی وجود ندارد.

اما در مورد کودکان ایرانی، نتایج ارزیابی خطر مواجهه با سم آفاتوکسین در شیر کاملاً متفاوت است. از بین پنج مطالعه ارزیابی خطر آفاتوکسین در شیر مصرفی ایران که تا کنون منتشر شده است، در یک مورد ارزیابی خطر به طور اختصاصی در مورد کودکان ایرانی انجام شده که مؤید وجود خطر ابتلا به سرطان در کودکان است. به طوری که با احتساب میانگین وزن ۱۵ کیلوگرم برای کودکان ایرانی، مقادیر HI برای مصرف شیر خام، شیر پاستوریزه، و شیر فرا دما (استریلیزه) به ترتیب ۱٫۰۳، ۱٫۳۰، و ۲٫۳۵ بود (Rahmani و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین با استناد به مطالعه Bahrami و همکاران (۲۰۱۶)، به نظر می‌رسد که احتمالاً خطر سرطان ناشی از مصرف لبنیات (در فصل زمستان)، در کودکان ساکن در استان‌های غربی ایران وجود دارد. نظر به این که شاخص HI برای کودکان ایرانی بالاتر از ۱ به دست آمد، می‌توان نتیجه گرفت که گاهی آفاتوکسین موجود در برخی از شیرهای تولیدی در ایران به ویژه در فصل زمستان، تحت شرایطی ممکن است یک خطر بالقوه برای سلامتی کودکان به شمار رود. یکی از نکاتی که باید در محاسبات ارزیابی خطر، مد نظر قرار گیرد و به نظر می‌رسد تا حدودی مغفول مانده است، توجه به وزن بدن گروه مصرف کننده شیر است؛ چرا که تفاوت زیادی بین کودکان و بزرگسالان وجود دارد. در فرمول محاسبه ارزیابی خطر، فاکتور مربوط به وزن گروه مصرف کننده، در مخرج کسر قرار دارد و لذا هر چه وزن بدن کمتر باشد میزان خطر افزایش می‌یابد. لذا با توجه به فرمول محاسبه HI که نسبت مستقیم با میزان مصرف شیر و

نسبت معکوس با وزن بدن دارد، بدیهی است که کودکان به طور کلی در معرض خطر بیشتری نسبت به سم آفاتوکسین موجود در شیر هستند. زیرا وزن بدن آنها کمتر از بزرگسالان بوده و دیگر آنکه میزان مصرف شیر روزانه آنها، بیشتر از بزرگسالان است. بنابراین باید دقت کرد که محاسبات مربوط به ارزیابی خطر در بزرگسالان، به هیچ عنوان قابل تعمیم به کودکان نیست. اغلب مقالاتی که تا کنون به ارزیابی خطر آفاتوکسین در شیر مصرفی ایران پرداخته‌اند بر مبنای وزن بدن بزرگسالان (میانگین ۶۰ تا ۷۰ کیلوگرم) انجام شده است. اما همان‌گونه که پیشتر اشاره شد در مطالعه‌ای که اختصاصاً به ارزیابی خطر در کودکان ایرانی پرداخته است، نتایج کاملاً متضادی به دست آمده است که باید به عنوان یک زنگ خطر جدی مورد توجه قرار گیرد. در مجموع توصیه شده است برای حصول داده‌های جامع، باید ارزیابی خطر آفاتوکسین در شیر، به طور جداگانه در سه گروه سنی نوزادان، نوجوانان و بزرگسالان انجام شود. لذا لازم است در آینده ارزیابی خطر آفاتوکسین در شیرهای مصرفی ایران، بر مبنای گروه‌های سنی مختلف انجام شود تا اطلاعات شفاف‌تری به دست آید. چرا که در یک تحقیق در کشور صربستان مشخص شد که شاخص HI برای ارزیابی خطر آفاتوکسین در شیر مصرفی افراد بالغ (۱۵ سال به بالا) در این کشور کمتر از ۱ است و لذا هیچ خطری برای بالغین وجود ندارد؛ اما هنگامی که ارزیابی خطر در مورد اطفال انجام گرفت، شاخص HI نمایانگر وجود خطر سرطان در کودکان کشور صربستان بود؛ به طور مثال شاخص HI برای پسران ۴-۱ ساله برابر با ۵٫۱۸ و در مورد پسران ۱۵-۵ ساله برابر ۱٫۸۲ بود (Miličević و همکاران، ۲۰۱۷). می‌توان نتیجه گرفت که با عنایت به تأثیر سوء آفاتوکسین در بروز اختلالات رشد در بدن کودکان، توجه به راهکارهای پیشگیری و کنترل این سم در کشور ما بسیار ضروری است و این موضوع باید مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

نتایج مطالعات مختلف در سرتاسر جهان بیانگر آنست که عموماً شیوع سم آفاتوکسین در شیرهای تولیدی در کشورهای در حال توسعه، به مراتب از کشورهای توسعه یافته بیشتر است (Ketney و همکاران، ۲۰۱۷). پژوهش‌ها نشان داده است که در بین مناطق گوناگون جهان، مسئله آلودگی شیر به آفاتوکسین عمده‌تاً مربوط به کشورهای

جنوب آسیا نظیر ایران، پاکستان، هند، و ... است؛ همچنین شیرهای تولیدی در بعضی از کشورهای آفریقایی از جمله سودان، مراکش و ... با این مشکل روبرو هستند. اما به دلیل ابزارهای نظارتی سخت‌گیرانه در ممالک توسعه یافته به ویژه در اروپا، معضل آفاتوکسین در اغلب شیرهای تولیدی این کشورها تا حد قابل قبولی کنترل شده است (Iqbal و همکاران، ۲۰۱۵). در بسیاری از مطالعات انجام شده در کشورهای اروپایی، شیوع موارد بیش از حد مجاز آفاتوکسین در شیر، کمتر از ۱٪ گزارش شده است. اما طبق نتایج این مطالعه، به طور میانگین حدود ۲۰٪ از نمونه‌های شیر مصرفی در کشور ما، آلوده به مقادیر بیش از حد مجاز آفاتوکسین طبق استاندارد ملی ایران بودند که این رقم در مقایسه با کشورهای اروپایی، بسیار زیاده‌تر است. به عنوان مثال، طبق جدیدترین پژوهشی که در کشور اسپانیا انجام شد، فقط ۳ عدد از ۳۷۵ (۰٫۸٪) نمونه شیر، آلوده به مقادیر غیر مجاز آفاتوکسین M₁ بودند (Rodríguez-Blanco و همکاران، ۲۰۲۰). در گزارش دیگری در کشور ایتالیا، از بین ۸۰۴ نمونه شیر، فقط ۱ مورد حاوی مقادیر غیر مجاز آفاتوکسین M₁ بود (De Roma و همکاران، ۲۰۱۷). این در حالیست که در بعضی از کشورهای در حال توسعه یا توسعه نیافته، وضعیت آلودگی غیر مجاز به آفاتوکسین M₁ در شیرهای تولیدی، زیاد و قابل توجه است.

یک فراتحلیل جهانی که هشت متاتحلیل و در مجموع ۷۶۶ مطالعه اولیه را در بر گرفت نشان داد که به طور میانگین ۶۶٪ از محصولات لبنی آلوده به آفاتوکسین M₁ بوده‌اند. بیشترین میزان آلودگی در شیر پاستوریزه با ۸۸٪ و کمترین در دوغ با ۱۷٪ مشاهده شد. میانگین غلظت آفاتوکسین M₁ در نمونه‌های بررسی شده ۵۷/۲۲ نانوگرم در کیلوگرم گزارش شد. همچنین کشورهای ایران، ترکیه، پاکستان و لبنان بالاترین میزان شیوع آلودگی را به خود اختصاص دادند که این امر نشان‌دهنده گستردگی مشکل در منطقه خاورمیانه و آسیا است (Jahromi و همکاران، ۲۰۲۵).

در پژوهش دیگری که با تمرکز بر کشورهای حاشیه مدیترانه انجام شد و ۱۲۳ مقاله منتشر شده در ۲۰ سال اخیر را مرور کرد، میزان شیوع آفاتوکسین M₁ در محصولات لبنی حدود ۴۰ درصد برآورد شد. نتایج این

تحقیق بیانگر آن بود که بالاترین سطح آلودگی در کشورهای جنوب شرقی مدیترانه گزارش شده است. همچنین ارزیابی خطر نشان داد که شاخص خطر برای کودکان تا ۱/۹ محاسبه شده و بنابراین خطر بالقوه برای گروه‌های سنی پایین وجود دارد. در میان محصولات لبنی، مصرف پنیر فeta کمترین میزان مواجهه با این سم را به همراه داشت که می‌تواند ناشی از روش‌های فرآوری خاص آن باشد (Malissiova و همکاران، ۲۰۲۴).

علاوه بر این، یک مطالعه میدانی در لبنان که در چهار شهر اصلی این کشور انجام شد، به طور اختصاصی به بررسی میزان آفلاتوکسین M_1 در شیر خام پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که شیر خام در سطح قابل توجهی آلوده به آفلاتوکسین M_1 است و می‌تواند خطرات بهداشتی قابل ملاحظه‌ای برای مصرف‌کنندگان به ویژه کودکان ایجاد کند. ارزیابی ریسک این پژوهش بر اهمیت تدوین سیاست‌های کنترلی و پایش مستمر برای کاهش مواجهه مصرف‌کنندگان با آفلاتوکسین M_1 تأکید داشت (Geleta و همکاران، ۲۰۲۴).

طبق یک پژوهش صورت گرفته توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان، هیچ‌یک از نمونه‌های شیر در کشور ژاپن، آلوده به مقادیر بیش از حد مجاز سم آفلاتوکسین نبودند. بالعکس، مقدار سم آفلاتوکسین در برخی از نمونه‌های شیر در کشورهای تایلند و هند به ترتیب تا مقدار ۶۶۰۰ و ۳۵۰۰ نانوگرم در لیتر گزارش شد که چندین برابر بیشتر از حد مجاز است (Shaw، ۲۰۱۸). همچنین نتایج دو تحقیق جداگانه در کشورهای تانزانیا (Mohammed و همکاران، ۲۰۱۶) و اتیوپی (Gizachew و همکاران، ۲۰۱۶) نشان داد که به ترتیب ۸۳٫۸٪ و ۹۱٫۸٪ از شیرهای تولیدی در دو کشور مزبور، آلوده به مقادیر بیش از حد مجاز سم آفلاتوکسین بودند. در مطالعه Ghanem و Orfi (۲۰۰۹) در کشور سوریه، مقادیر آلودگی غیر مجاز در ۳۸٪ نمونه‌های شیر گزارش شد. از این رو می‌توان عنوان کرد که اگرچه در کشورهای پیشرفته، مسئله سم آفلاتوکسین در شیر دیگر به عنوان یک خطر بهداشتی مطرح نیست، اما در برخی از کشورهای در حال توسعه یا توسعه نیافته کماکان یک خطر مهم بهداشتی به شمار می‌رود.

به تازگی نتایج یک پژوهش نشان می‌دهد که در بین کشورهای خاورمیانه، ایران رتبه اول را از نظر بیشترین شیوع سم آفلاتوکسین در شیر خام و پاستوریزه دارد؛ همچنین ایران، رتبه اول بیشترین شاخص HI از نظر خطر دریافت آفلاتوکسین از طریق مصرف شیر استریلیزه (فرا دما) را دارد (Rahmani و همکاران، ۲۰۱۸). این وضعیت نمایانگر آنست که باید موضوع سم آفلاتوکسین در شیرهای تولیدی در ایران به طور جدی مورد ارزیابی قرار گرفته و انجام اقدامات مؤثر برای کاهش آلودگی، در اولویت دستگاه‌های نظارتی و اجرایی ذیربط قرار گیرد. البته به غیر از ایران، در بعضی دیگر از کشورهای خاورمیانه مانند سوریه، پاکستان، عربستان سعودی و ترکیه، سم آفلاتوکسین موجود در شیر یک مشکل بهداشتی محسوب می‌شود.

همان‌طور که قبلاً شرح آن رفت، بر روی شیر خام هیچ‌گونه فرایند حرارتی اعم از پاستوریزاسیون یا استریلیزاسیون انجام نمی‌گیرد. اما شیرهای حرارت دیده، در کارخانجات لبنی، پاستوریزه یا استریلیزه می‌شوند. طبق نتایج به دست آمده، میانگین درصد آلودگی بیش از حد مجاز آفلاتوکسین در نمونه‌های شیر خام و حرارت دیده (پاستوریزه) در کشور ما طبق استاندارد ایران به ترتیب برابر با ۲۱٫۴٪ و ۱۸٫۳٪ بود. طبق آنالیز آماری، آلودگی به آفلاتوکسین در شیرهای خام به طور معناداری ($p < ۰٫۰۱$) بیشتر از شیرهای حرارت دیده بود. به نظر می‌رسد یکی از دلایل احتمالی این موضوع، آنست که محموله‌های شیرهای مورد استفاده برای تهیه محصولات پاستوریزه در کارخانجات، از گاوداری‌های صنعتی مختلف اخذ شده و در ایستگاه‌های جمع‌آوری شیر و در تانکرهای مخصوص در کارخانجات لبنی با یکدیگر مخلوط می‌شوند؛ اختلاط شیرهای آلوده با شیرهای سالم، احتمالاً موجب می‌شود که میزان آلودگی تا حدی کاهش پیدا کند. بالعکس، در مورد شیرهای خام که اغلب توسط گاوداری‌های سنتی تهیه و توزیع می‌شوند، چنین اختلاطی کمتر انجام می‌پذیرد. با این حال فرایندهای حرارتی پاستوریزاسیون یا استریلیزاسیون، تأثیر قابل توجهی روی کاهش سم آفلاتوکسین ندارند. زیرا ساختار شیمیایی سم آفلاتوکسین در برابر حرارت پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون شیر، بسیار مقاوم بوده و تخریب نمی‌شود (Becker-Algeri و همکاران، ۲۰۱۶).

Iqbal و همکاران، ۲۰۱۵؛ Prandini و همکاران، ۲۰۰۹). اساساً یکی از عمده‌ترین عواملی که موجب پیچیدگی و دشواری کنترل آفلاتوکسین در شیر شده است، مقاومت بسیار زیاد این سم به حرارت است. به همین علت کارخانجات صنایع لبنی، قهراً نمی‌توانند نقش چشمگیری در کنترل مسئله آفلاتوکسین در شیر ایفا کنند؛ بلکه بسیار مهم است که در دامداری‌ها از تغذیه حیوانات با علوفه و خوراک آلوده و کپک‌زده، جلوگیری شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس مرور تحقیقات دانشگاهی گذشته، به طور میانگین ۲۰،۱٪ از نمونه‌های شیر مصرفی در ایران، آلوده به مقادیر بیش از حد مجاز آفلاتوکسین طبق استاندارد ملی ایران (۱۰۰ نانوگرم در لیتر) بودند. درصد آلودگی بیش از حد مجاز در نمونه‌های شیر در شهرهای مختلف، از ۰٪ تا ۱۰۰٪ متغیر بود. نتایج ارزیابی خطر آفلاتوکسین در شیر مصرفی در ایران نشان داد که اگرچه خطری متوجه سلامت بزرگسالان نیست، اما تحت شرایطی ممکن است خطری بالقوه برای سلامت کودکان باشد و لذا باید مورد بررسی و مطالعه بیشتر قرار گیرد.

منشاء اصلی آلودگی شیر به آفلاتوکسین، کپک‌زدگی علوفه و خوراک دام (به ویژه ذرت) طی نگهداری در شرایط مرطوب و نمناک است. تغذیه دام‌ها با نان خشک ضایعاتی (به ویژه در دامداری‌های سنتی) یکی دیگر از عوامل احتمالی دخیل در آلودگی شیر به سم آفلاتوکسین است. آموزش و جلب مشارکت آحاد مردم در خصوص کاهش دور ریز نان و اجتناب از تحویل یا فروش نان خشک به سایر افراد، و جرم انگاری جمع‌آوری و توزیع سازمان یافته نان خشک ضایعاتی مورد تغذیه دام‌ها در کنترل این سم موثر به نظر می‌رسد.

آلودگی شیر به آفلاتوکسین، در فصل زمستان به مراتب بیشتر از فصول گرم است. زیرا در زمستان به جای علوفه تازه، از علوفه سیلو شده استفاده می‌شود که مستعد کپک‌زدگی هستند. از طرفی، بارندگی و رطوبت زیاد در زمستان موجب افزایش احتمال کپک‌زدگی علوفه و خوراک دامی می‌شود. لذا تشکیل اکیپ‌های بازرسی زمستانه توسط سازمان دامپزشکی برای پایش سریع آفلاتوکسین در شیرهای تولیدی در فصل زمستان قابل توصیه است.

همچنین سالم‌سازی شیرهای آلوده به مقادیر خفیف آفلاتوکسین، از طریق استفاده از آنها در فرایند خط تولید فراورده‌های لبنی تخمیری به ویژه ماست از پیشنهادات کاربردی در این زمینه به شمار می‌رود.

در حال حاضر موانع و چالش‌هایی در زمینه بازرسی و نظارت بهداشتی شیر در کشور ما دیده می‌شود که از جمله آنها می‌توان به نبود پروتکل قانونی مشخص در مواجهه با شیرهای آلوده، نبود تجهیزات آزمایشگاهی کافی برای تشخیص آفلاتوکسین، وجود رابطه مالی بین مسئول فنی و کارفرما، و عدم یکپارچگی سیستم نظارتی بهداشت شیر اشاره کرد. در این راستا به نظر می‌رسد قطع رابطه مستقیم مالی بین مسئول فنی و کارفرما در گاوداری‌ها/ کارخانجات لبنی جهت جلوگیری از بروز تساهل و تسامح در روند نظارتی مسئولان فنی و از سوی دیگر تدوین آیین نامه نحوه قضاوت بهداشتی بازرسان در مورد معدوم‌سازی یا سالم‌سازی شیرهای آلوده ضروری به نظر می‌رسد. تهیه پروتکل‌های قانونی مصوب برای اجرای طرح بیمه خسارات شیر به دامداران و همچنین تخصیص تسهیلات اعتباری به دامداران جهت تهیه و به کارگیری مکمل‌های جاذب سموم (توکسین بایندر) در جیره خوراکی دام‌ها به ویژه در زمستان ازجمله پیشنهادات کاربردی برای سیاست‌گذاران اجرایی است.

اگرچه موضوع سم آفلاتوکسین در شیر باید به طور جدی مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد، اما به هیچ وجه نباید وضعیت بهداشتی شیرهای تولیدی در ایران را بحرانی تلقی کرد. همان قدر که عزم همگانی جهت کاهش و کنترل سم آفلاتوکسین در شیر ضرورت دارد، به همان اندازه نیز باید بر اهمیت افزایش مصرف روزانه شیر در جامعه تأکید شود. چرا که در حال حاضر، میانگین سرانه مصرف شیر در ایران مطلوب نیست. در این رابطه، کارخانجات لبنی که از شاخص‌ترین صنایع غذایی کشور هستند، نقش چشمگیری در تأمین لبنیات مورد نیاز ایفا می‌کنند.

منابع

Abrar, M., Anjum, F. M., Butt, M. S., Pasha, I., Randhawa, M. A., Saeed, F. & Waqas, K. (2013). Aflatoxins: biosynthesis, occurrence, toxicity, and remedies. *Critical*

Reviews in Food Science and Nutrition, 53, 862–874.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2011.563154>

Ahmadi, E. (2020). Potential public health risk due to consumption of contaminated bovine milk with aflatoxin M1 and *Coxiella burnetii* in the West of Iran. *International Journal of Dairy Technology*, 70. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12687>

Akrami Mohajeri, F., Amiri, A., Azad, H. K., Ahmadi, Z., Asadollahi, Z., Rezaeian, M., Fallah, A. A. & Ghalebi, S. R. (2015). Occurrence of aflatoxin M1 in raw and pasteurized milk produced in Rafsanjan, Iran. *Journal of Community Health Research*, 4, 215–219.

Ansari, F., Pourjafar, H. & Christensen, L. (2019). A study on the aflatoxin M1 rate and seasonal variation in pasteurized cow milk from northwestern Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 6. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7141-1>

Bahrami, R., Shahbazi, Y. & Nikousefat, Z. (2016). Aflatoxin M1 in milk and traditional dairy products from west part of Iran: occurrence and seasonal variation with an emphasis on risk assessment of human exposure. *Food Control*, 62, 250–256.

Barikbin, B., Allahresani, A., Khosravi, R. & Khodadadi, M. (2015). Detection of aflatoxin M1 in dairy products marketed in Iran. *Health Scope*, 4, 18925.

Becker-Algeri, T. A., Castagnaro, D., de Bortoli, K., de Souza, C., Drunkler, D. A., & Badiale-Furlong, E. (2016). Mycotoxins in bovine milk and dairy products: a review. *Journal of Food Science*, 81, 544–552. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13204>

Behfar, A., Khorasgani, Z. N., Alemzadeh, Z., Goudarzi, M., Ebrahimi, R. & Tarhani, N. (2012). Determination of aflatoxin M1 levels in produced pasteurized milk in Ahvaz City by using HPLC. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 7, 80. <https://doi.org/10.15171/jundishapur.2012.013>

Caballero, B., Finglas, P. & Toldrá, F. (2016). *Encyclopedia of food and health*. Academic Press.

De Roma, A., Rossini, C., Ritieni, A., Gallo, P. & Esposito, M. (2017). A survey on the aflatoxin M1 occurrence and seasonal variation in buffalo and cow milk from Southern Italy. *Food Control*, 81, 30–33. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.05.014>

Fallah, A. A. (2010). Assessment of aflatoxin M1 contamination in pasteurized and UHT milk marketed in central part of Iran. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 988–991. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.01.014>

Fallah, A. A., Barani, A., & Nasiri, Z. (2015). Aflatoxin M1 in raw milk in Qazvin Province, Iran: a seasonal study. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 8, 195–198.

<https://doi.org/10.1080/19393210.2015.1046193>

Fallah, A. A., Fazlollahi, R. & Emami, A. (2016). Seasonal study of aflatoxin M1 contamination in milk of four dairy species in Yazd, Iran. *Food Control*, 68, 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.03.018>

Farshi, P., Khakpour, M. R. & Tabibi Azar, M. (2017). Determination of aflatoxin M1 in pasteurized milk distributed in Tabriz. *Food Hygiene Journal*, 7(3), 89–96.

Ganjeizadeh Rohani, F., Aminaee, M. M. & Kianfar, M. (2011). Survey of aflatoxin M1 in cow's milk for human consumption in Kerman Province of Iran. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 4, 191–194. <https://doi.org/10.1080/19393210.2011.599866>

Geleta, G. S., Nugussa, A., Faye, G. & Ragassa, G. (2024). Assessment of Human Health Risks from Aflatoxin M1 in Raw Milk: A Study from north shewa zone, oromia region, ethiopia. *Environmental Health Insights*, 18, 11786302241304524. <https://doi.org/10.1177/11786302241304524>

Ghaedi, A. & Mohamadi Sani, A. (2013). Determination of AFM1 in milk by ELISA technique in Quchan (North-east of Iran). *Biotechnology Indian Journal*, 7, 337–340.

Ghaffarian Bahraman, A., Mohammadi, S., Jafari, A., Ghani-Dehkordid, J., Arabnezhad, M. R., Rahmdel, S. & Hosseini Teshnizi, S. (2019). Occurrence of aflatoxin M1 in milks of five animal species in Iran: a systematic review and meta-analysis. *Food Reviews International*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1669164>

Ghajarbeygi, P., Palizban, M., Mahmoudi, R., Khaniki, G. J. & Pakbin, B. (2016). Aflatoxin M1 contamination of cow's raw milk in different seasons from Qazvin province, Iran. *Journal of Biology Today's World*, 5, 173–176.

<https://doi.org/10.15412/J.JBTW.01051001>

- Ghanem, I. & Orfi, M. (2009). Aflatoxin M1 in raw, pasteurized and powdered milk available in the Syrian market. *Food Control*, 20, 603–605. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.08.018>
- Ghasemian, O. (2019). Assessment of aflatoxin M contamination in raw milk from Behbahan dairy farms. *Toloo-e-Behdasht Journal*, 18, 46–56. <https://doi.org/10.32598/qums.17.2764.1>
- Gholampour Azizi, E., Khoshnavis, S. H. & Hashemi, S. J. (2007). Measurement of aflatoxin M1 in pasteurized and sterilized milk consumed in Babol city. *Journal of Tehran University of Medical Sciences*, 65, 20–24.
- Gholipour, M., Karimzadeh, L., Alinia, F. & Babaei, Z. (2012). Determination of aflatoxin M1 in pasteurized milk produced in Mazandaran province factories in the first half of 2011. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 23, 40–46.
- Gizachew, D., Szonyi, B., Tegegne, A., Hanson, J. & Grace, D. (2016). Aflatoxin contamination of milk and dairy feeds in the greater Addis Ababa milk shed, Ethiopia. *Food Control*, 59, 773–779. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.060>
- Golestan, L. & Rahimi, K. (2019). Aflatoxin M1 contamination levels in raw milk distributed in the eastern markets of Mazandaran province. *Food Hygiene Journal*, 9(2), 85–91. <https://doi.org/10.30495/JFH.2019.665676>
- Hajimohammadi, B., Ehrampoush, M. H., Dalvand, A., Mohammadzadeh, M., Soltani, M. & Eskandari, S. (2021). Assessment of aflatoxin exposure using urine biomarker in pregnant and non-pregnant women in Yazd, Center of Iran. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 8(4), 277–286.
- Hashemi, M. (2016). A survey of aflatoxin M1 in cow milk in Southern Iran. *Journal of Food and Drug Analysis*, 24, 888–893. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.05.002>
- Jahromi, A. S., Jokar, M., Abdous, A., Rabiee, M. H., Biglo, F. H. B. & Rahmanian, V. (2025). Prevalence and concentration of aflatoxin M1 in milk and dairy products: an umbrella review of meta-analyses. *International Health*, 17(4), 403–415. <https://doi.org/10.1093/inthealth/ihaf002>
- Kamkar, A. (2006). A study on the occurrence of aflatoxin M1 in raw milk produced in Sarab city of Iran. *Food Control*, 17, 582–584. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.06.021>
- Karimi, G., Hassanzadeh, M., Teimuri, M., Nazari, F. & Nili, A. (2007). Aflatoxin M1 contamination in pasteurized milk in Mashhad, Iran. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 3, 153–156. <https://doi.org/10.22037/ijps.v3.41008>
- Kermani, M., Yazdani, A., Asadzadeh, S. N., Rajabizadeh, A., Nikoozadeh, H., Firoozeh, N. & Hashemi, M. (2019). Determination of aflatoxin M1 and antibiotic residues in raw milk supplied in Bojnourd city in 2016. *Journal of Health and Development*, 8, 72–82. <https://doi.org/10.22034/8.1.1.72>
- Malissiova, E., Tsinoopoulou, G., Gerovasileiou, E. S., Meleti, E., Soultani, G., Koureas, M. & Manouras, A. (2024). A 20-year data review on the occurrence of aflatoxin M1 in Milk and dairy products in Mediterranean countries—Current situation and exposure risks. *Dairy*, 5(3), 491–514. <https://doi.org/10.3390/dairy5030038>
- Mason, S., Arjmandtalab, S., Hajimohammadi, B., Ehrampoush, M. H., Khosravi Arsanjani, A., Jahed Khaniki, G. H., Rahimzade, A. & Raeisi, M. (2016). Reduction of aflatoxin M1 during production of Kashk, a traditional Iranian dairy product. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 3, 10–14.
- Mason, S., Arjmandtalab, S., Hajimohammadi, B., Khosravi Arsanjani, A., Karami, S., Sayadi, M. & Oryan, A. (2015). Aflatoxin M1 contamination in industrial and traditional yogurts produced in Iran. *Journal of Food Quality and Hazard Control*, 2, 11–14.
- Moeinian, K. & Rastgoo, T. (2014). Changes in aflatoxin M1 concentration in raw, pasteurized, and school milk in Shahroud. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 119, 19–28.
- Moeinian, K., Yaghmaeian, K. & Ghorbani, R. (2013). Aflatoxin M1 concentration in raw milk produced in Semnan province. *Koomesh Journal*, 15, 176–181.
- Mohajeri, F. A., Amiri, A., Azad, H. K., Ahmadi, Z., Asadollahi, Z., Rezaeian, M., Fallah, A. A. & Ghalebi, S. R. (2015). Occurrence of aflatoxin M1 in raw and pasteurized milk produced in Rafsanjan, Iran. *Journal of Community Health Research*, 4, 215–219.
- Montazer Herzend, M., Paya, H., Taghizadeh, A. & Hosseinkhani, A. (2019). Aflatoxin contamination in feed and milk and

molecular identification of fungal strains in dairy farms of East Azerbaijan. *Journal of Animal Science Research*, 2, 43–55.

Movaegh, M. H. & Adinehvand, S. (2013). Study of aflatoxin M1 levels in raw milk collected in Tabriz. *Food Hygiene Journal*, 3, 63–70.

Najafian, M. & Najafian, B. (2015). Assessment of aflatoxin M1 in milk samples of Gilan dairy factories by ELISA. *World of Microbes Journal*, 8(3), 422–459.

Norouzi, H. & Kazemi, A. (2014). Aflatoxin M1 levels in fresh cow's milk (raw and pasteurized) in Khuzestan province. *Jundishapur Scientific Medical Journal*, 13(1), 327–333.

Rasti Ardakani, M., Ranjbari, A. R. & Heidari, M. R. (2018). Contamination level of raw and pasteurized milk distributed in Isfahan market with aflatoxin M1. *Health System Research Journal*, 14, 265–271. <https://doi.org/10.22122/jhsr.v14i2.3207>

Riazipour, M., Tavakoli, H. R., Razaghi Abyaneh, M., Rafati, H. & Sadr-Momtaz, M. T. (2010). Measurement of aflatoxin M1 in

pasteurized milk. *Kosar Medical Journal*, 15(2), 89–93.

Sanatgar, A. & Aghazadeh, M. (2017). Evaluation of aflatoxin M1 contamination in raw milk in Khoy city. *Veterinary and Biological Products Research (Research and Development)*, 117, 147–154. <https://doi.org/017.108435.1241vj10.22034>

Sefidgar, S. A. A. & Khosravi, A. R. (2010). Aflatoxin M1 contamination in pasteurized milk in Babol city, Mazandaran Province, Iran. *Iranian Journal of Public Health*, 39, 105–109.

Shundo, L. & Sabino, M. (2006). Aflatoxin M1 in milk by immunoaffinity column cleanup with TLC. *Food Additives & Contaminants*, 23, 266–270. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822006000200013>

Yahya Raeiat, R., Shokri, H., Khosravi, A. & Torabi, S. (2017). Evaluation of aflatoxin M1 contamination in raw milk samples by ELISA in Yazd province. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 72(3), 313–321. <https://doi.org/10.22059/jvr.2017.222337.2551>

Systematic Review of Aflatoxin M Levels in Milk Available in Iran

B. Hajimohammadi^a, K. Damavandi Kamali^a, M. Ebrahimi^a, E. Ahmadi Ara^b,
M. Raeisi^{a*}

^a Food, Drug and Natural Products Health Research Center, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran.

^b Department of Pathobiology, Faculty of Veterinary Medicine, Amol University of Special Modern Technologies, Amol, Iran.

Received: 8 August 2025

Accepted: 1 October 2025

Abstract

Introduction: Molding and contamination of animal feed with aflatoxins ultimately result in contamination of the milk consumed by humans with the carcinogenic aflatoxin toxin. Considering the importance of aflatoxin in public health, this systematic review aimed to evaluate the levels of aflatoxin in milk consumed in Iran.

Materials and Methods: All relevant articles related to the measurement and evaluation of aflatoxin M1 levels in milk consumed in Iran, published in peer-reviewed scientific journals, were searched and reviewed based on research criteria. International articles were searched in national and international scientific databases and were ultimately analyzed statistically using SPSS software.

Results: The percentage of samples exceeding the maximum allowable limits varied from 0% to 100%. The highest contamination rate was related to pasteurized milk samples in the city of Babol, where all (100%) of the pasteurized milk samples were contaminated with aflatoxin levels exceeding the national Iranian standard (100 ng/L). On average, 20.1% of milk samples in Iran were contaminated with aflatoxin levels above the Iranian standard limit (100 ng/L). The percentage of contamination exceeding the European standard limit (50 ng/L) was found to be 30.4%.

Conclusion: The results of aflatoxin risk assessment in milk consumed in Iran, based on the systematic review of previous studies, indicated that although levels exceeding the maximum allowable limits do not pose a health risk for adults, under certain conditions they may represent a potential health risk for children and therefore require further investigation and study.

Keywords: Aflatoxin, Food Health, Iran, Milk.

* Corresponding Author: Mojtabaraeisi1364@gmail.com