

## بررسی تاثیر پاتولوژی و مسمومیت غذایی ماهیان با مایکوتوکسین‌ها

محمد کریمی<sup>۱</sup>، امین غلامحسینی<sup>۱\*</sup>، مهدی بنایی<sup>۲</sup>، امیر زیدی<sup>۳</sup>، رضا شاکری<sup>۴</sup>، امین نعمت‌اللهی<sup>۵</sup><sup>۱</sup>بخش بهداشت و بیماری‌های آبزیان، گروه علوم درمانگاهی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.<sup>۲</sup>گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا بهبهان، بهبهان، ایران.<sup>۳</sup>گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.<sup>۴</sup>گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا بهبهان، بهبهان، ایران.<sup>۵</sup>گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

\*نویسنده مسئول amingholamhosseini@shirazu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۱۵

## چکیده

رشد و توسعه صنعت آبی‌پروری در دهه‌های اخیر منجر به توسعه صنعت تولید غذای آبزیان نیز شده است. در پرورش متراکم آبزیان، نیاز به پروتئین حیوانی با کیفیت بالا، لیپید و سایر مواد مغذی ضروری است. پودر ماهی به‌عنوان یک ماده مهم در تغذیه ماهی‌ها استفاده می‌شود که در آینده به مقدار کافی در دسترس نخواهد بود. افزایش فشار صیادی سبب کاهش ذخیره آبزیان دریایی شده است؛ بنابراین کاهش وابستگی آبی‌پروری به منابع دریایی به‌منظور توسعه پایداری این صنعت در آینده امری ضروری محسوب می‌شود. بنابراین استفاده از منابع پروتئینی گیاهی مانند غلات و حبوبات در خوراک آبزیان می‌تواند در تحقق این هدف مؤثر باشد. اما مواد غذایی گیاهی می‌تواند بستر طبیعی و مناسبی را برای رشد قارچ‌ها فراهم کنند. محصولات زارعی ممکن است در زمان برداشت و یا در حین نگهداری در انبار به قارچ‌ها آلوده شوند. تحت شرایط نامساعد محیطی، در دمای بالای ۲۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت بیش از ۶۰ درصد و عدم تهویه مناسب، قارچ‌ها به‌سرعت رشد کرده و با تولید مایکوتوکسین می‌توانند سلامت آبزیان را به مخاطره بیندازند. علاوه بر این تجمع مایکوتوکسین‌ها در بافت خوراکی ماهیان می‌تواند برای سلامت مصرف‌کنندگان نیز خطرناک باشد. از این‌رو، شناخت انواع مختلف مایکوتوکسین‌ها و درک چگونگی انتقال آن از مواد غذایی به آبزیان پرورشی و در نهایت به مصرف‌کنندگان انسانی ضروری است. در حال حاضر، آفاتوکسین‌ها، استریگماتوسیتین، اوکراتوکسین، تریکوتسن‌ها، زیرالنون و فومونیسین‌ها از مهمترین مایکوتوکسین‌های شناخته شده در غذای آبزیان است؛ که می‌تواند آسیب‌های پاتولوژیک زیادی از جمله کاهش عملکرد رشد، تغییر در شاخص‌های خون‌شناسی، آسیب‌های بافت‌شناسی، تغییر در پارامترهای بیوشیمیایی، استرس اکسیداتیو و آسیب‌های ژنتیکی به آبزیان وارد نماید. بنابراین در این مقاله تلاش شده تا ضمن معرفی هر کدام از این ترکیبات، تاثیرات آنها بر سلامت آبزیان را نشان داده شود.

واژگان کلیدی: آبی‌پروری، مایکوتوکسین، تغذیه آبزیان، عفونت قارچی.

## مقدمه

(Supartini et al., 2018). بنابراین افزایش تقاضا

برای مصرف آبزیان باعث افزایش فعالیت‌های صید و صیادی و توسعه آبی‌پروری ۵/۸ درصدی در طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۶ شده است (Charo-Karisa and Gichuri, 2010).

هم‌زمان با رشد سریع در پرورش آبزیان، تقاضا برای خوراک آن‌ها نیز به‌طور نسبی افزایش یافته است (Anater et al., 2016; Pietsch, 2020). خوراک ماهی اساسی‌ترین هزینه در صنعت پرورش آبزیان است و ۵۰ تا ۷۰ درصد هزینه‌های تولیدکنندگان ماهی را

افزایش دو برابری سرانه مصرف غذاهای دریایی در سراسر جهان از ۹ کیلوگرم در سال ۱۹۶۱ به ۲۰ کیلوگرم در سال ۲۰۱۵، منجر به توسعه سریع صنعت آبی‌پروری در طی چهار دهه اخیر شده است (Tveterås et al., 2012). این افزایش بیشتر به دلیل رشد سریع جمعیت و بهبود درآمد در برخی از کشورهای در حال توسعه و همچنین تغییر در الگوی غذایی به دلیل افزایش آگاهی از سلامت و ارزش مواد غذایی دریایی در کشورهای پیشرفته است

به‌طور گسترده‌ای در دسترس هستند (Barrows *et al.*, 2008). در بسیاری از گونه‌های آبزیان، می‌توان از ۴۰ تا ۱۰۰ درصد پودر ماهی را با کنسانتره پروتئین سویا جایگزین شود بدون اینکه اثرات منفی بر عملکرد رشد گونه‌های مختلف ماهی داشته باشد (Dersjant-Li, 2002).

وجود ترکیبات ضد تغذیه‌ای در محصولات زراعی نظیر مهارکننده‌های تریپسین، ساپونین‌ها می‌تواند بر عملکرد هضم و همچنین سوخت‌وساز و سلامت آبزیان تاثیر بگذارد (Chakraborty *et al.*, 2019, Puri *et al.*, 2019). به‌علاوه، این محصولات زراعی بهترین بستر طبیعی را برای رشد قارچ‌ها و تشکیل مایکوتوکسین فراهم می‌نماید. از این‌رو، مایکوتوکسین‌ها ممکن است از طریق خوراک به آبزیان و در نهایت از طریق زنجیره غذایی به مصرف کنندگان انتقال یابد (Marijani *et al.*, 2017). وجود مایکوتوکسین‌ها در خوراک‌های تهیه‌شده از مواد زائد گیاهی و دامی محلی مانند برنج، سبوس ذرت و گندم، پودر خون، کنجاله دانه پنبه و دانه‌های آفتابگردان و دانه‌های سویا و کاساوا گزارش شده است (Liti *et al.*, 2005). از این‌رو آلودگی ماهیان با قارچ‌های مایکوتوکسیژنیک مهمترین چالش‌های جدی برای توسعه آبزی‌پروری است (Fallah *et al.*, 2014). در این مقاله تلاش شده ضمن معرفی انواع مایکوتوکسین شناسایی شده در اقلام غذایی و رژیم غذایی آبزیان به عوارض ناشی از مسمومیت با انواع مختلف مایکوتوکسین‌ها و چگونگی انتقال احتمالی مایکوتوکسین‌ها از مواد خوراکی به آبزیان پرورشی پرداخته شود.

#### مایکوتوکسین‌ها

مایکوتوکسین‌ها مولکول‌های طبیعی هستند که به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه توسط قارچ‌های رشته‌ای تولید می‌شوند و ۲۵ درصد محصولات غذایی جهانی به این سموم آلوده می‌شوند (Oliveira and Vasconcelos, 2020). حدود ۳۰۰-۴۰۰ نوع مایکوتوکسین تا به امروز شناخته‌شده است (Berthiller *et al.*, 2007). آفلاتوکسین

تشکیل می‌دهند (Zhao *et al.*, 2010). در پرورش مترام آبزیان نیاز به پروتئین حیوانی باکیفیت بالا، لیپید و سایر مواد مغذی ضروری است (Tacon *et al.*, 2011). پودر ماهی به‌عنوان یک ماده مهم در تغذیه ماهی‌ها استفاده می‌شود که در آینده به مقدار کافی در دسترس نخواهد بود. کاهش وابستگی آبزی‌پروری به منابع دریایی به‌منظور توسعه پایدار این صنعت ضروری است. لذا کاهش درصد پودر ماهی و روغن ماهی در جیره غذایی آبزیان و جایگزینی آن با محصولات زراعی یکی از گزینه‌های مناسب، مقرون‌به‌صرفه و مناسب است.

تاکنون چندین ترکیب مختلف گیاهی برای جایگزینی پودر ماهی و روغن ماهی در جیره غذایی آبزیان پرورشی مورد آزمایش قرار گرفته است (Oliveira and Vasconcelos, 2020). مواد غذایی گیاهی مانند دانه‌های روغنی، حبوبات و دانه‌های غلات مانند جو، کلزا، ذرت، پنبه‌دانه و گندم و نیز روغن‌های گیاهی مانند روغن‌های نخل، بادام‌زمینی به‌طور فزاینده‌ای برای جایگزینی پودر ماهی و روغن ماهی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Tacon *et al.*, 2011; Anater *et al.*, 2016). اما تفاوت بین پروفیل اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب ضروری در منابع پروتئینی و لیپیدی گیاهی و جانوری سبب شده که استفاده صد درصدی از منابع گیاهی برای جایگزینی منابع جانوری به‌ویژه پودر ماهی فراهم نباشد (Naylor *et al.*, 2009). در اغلب موارد، این جایگزینی به‌منظور کاهش هزینه خوراک صورت گرفته است (Enyidi *et al.*, 2017).

در حال حاضر، این محصولات بزرگ‌ترین منبع اولیه پروتئینی برای برخی از گونه‌های ماهی در سطوح پایین غذایی و دومین منبع اصلی پروتئینی برای میگو و گونه‌های ماهی‌ها در سطوح بالاتر غذایی محسوب می‌شوند (Tacon *et al.*, 2011). با توجه به افزایش قیمت پروتئین حیوانی غلات، حبوباتی نظیر سویا و محصولات آن مانند کنجاله سویا و کنسانتره پروتئین سویا امیدوارکننده‌ترین جایگزین آرد ماهی هستند زیرا

ممکن است از طریق زنجیره غذایی به مصرف کننده انسانی نیز منتقل شوند (Anater *et al.*, 2016). میکوتوکسیکوز یا مسمومیت های ناشی از مصرف یک یا چند میکوتوکسین در ارگاناسم (Krogh, 1969) گاه می تواند منجر به بیماری یا مرگ شود (Bennett, 2003).

از مهمترین عوارض جانبی میکوتوکسیکوز مزمن می توان به بیماری های همچون سرطان، اختلال رشد، اختلال عملکرد ایمنی و غیره اشاره کرد؛ در حالی که کاهش اشتها و مرگ و میر ممکن است از بارزترین علائم بالینی ابتلا به میکوتوکسیکوز حاد باشد (Bennett, 2003). علائم میکوتوکسیکوز به نوع میکوتوکسین، تاثیر هم افزایی میکوتوکسین ها، نوع رژیم غذایی، میزان و مدت قرار گرفتن در معرض، سن، سلامت و جنسیت فرد، و ویژگی های فردی از جمله ویژگی های ژنتیکی بستگی دارد (Roberts *et al.*, 2014).

#### عوامل مؤثر در ظهور میکوتوکسین ها

تولید سم به عوامل مختلفی از جمله عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بستگی دارد و هر قارچ نیاز به شرایط ویژه ای برای رشد و سایر شرایط تولید سم دارد (Taniwaki *et al.*, 2009; Garcia *et al.*, 2012; ) (Cheong *et al.*, 2016).

علاوه بر عوامل فیزیکی، عوامل شیمیایی شامل محیط شیمیایی، PH، در دسترس بودن مواد مغذی و مواد نگهدارنده نیز بر رشد قارچ ها تاثیرگذار هستند (Montille and Shih, 1991). علاوه بر این، به نظر می رسد عوامل زیستی نظیر وجود باکتری یا قارچ به طور هم زمان می تواند بر رشد قارچ های تولید کننده میکوتوکسین و تولید میکوتوکسین ها مؤثر باشد (Paterson and Lima, 2011, Battilani *et al.*, 2016). آلودگی خوراک ماهی توسط میکوتوکسین ها و انتقال احتمالی این سموم به ماهیان پرورشی و محصولات فرآوری شده از ماهی برای مصرف انسان، همچنان یک نگرانی جدی در مورد ایمنی مواد غذایی است (Chavez-Sanchez *et al.*, 1994).

B1 (AFB1)، دئوکسی زینوالنول (DON)، نیوالنول (NIV)، زیرالانول (ZEN)، اوکراتوکسین (OTA)، سم (T-2)، فومونیسین (FB1) B1، انیاتین ها (ENN) و بوورسین (BEA) از جمله رایج ترین میکوتوکسین هایی که به میزان قابل توجهی در محصولات زراعی و خوراکی یافت می شود (Bryden, 2012).

اگرچه میکوتوکسین ها نقش مهمی در رشد ارگاناسم ندارند، اما ممکن است از طریق ایجاد تأثیر متقابل بر سلول قابلیت زیست، رشد و سایر فعالیت های عادی آن را کاهش می دهند (Bakos *et al.*, 2013). میکوتوکسین ها به عنوان یک عامل تهدید کننده امنیت غذایی در سراسر جهان شناخته شده اند. قارچ ها می توانند به راحتی بر روی هر بستر گیاهی رشد کنند و از طریق تولید مقدار زیادی میکوتوکسین مسمومیت غذایی ایجاد کنند (Monbaliu *et al.*, 2010). علاوه بر این، با در نظر گرفتن تنوع زیاد میکوتوکسین ها و مکاناسم عملکرد آن ها، میزان تأثیرات متقابل توکسین ها بسیار پیچیده به نظر می رسد (McKean *et al.*, 2006). اگرچه کنترل تکثیر و رشد قارچ ها و آلودگی ها محصولات زراعی به میکوتوکسین بسیار مشکل به نظر می رسد، اما اتخاذ شیوه های مناسب مدیریتی می تواند از میزان آلودگی مواد غذایی به این سموم زیستی بکاهد (Bryden, 2012).

وجود قارچ های سمی و میکوتوکسین در خوراک ماهیان پرورشی در سال های اخیر به دلیل افزایش استفاده از مواد گیاهی به عنوان جیره غذایی ماهی، رو به افزایش است (Anater *et al.*, 2016). آلودگی توسط میکوتوکسین ها می تواند منجر به زوال و کاهش ارزش غذایی مواد اولیه و افت کیفیت محصولات در صنعت آبی پروری شود. اگرچه تشکیل میکوتوکسین ها به عوامل زیادی بستگی دارد، اما اغلب مواد تشکیل دهنده خوراک آبزیان ممکن است با چندین میکوتوکسین آلوده شوند و هنگامی که میکوتوکسین های موجود در خوراک توسط ماهی بلعیده می شوند، نه تنها می توانند بر سلامت حیوان تأثیر بگذارند، بلکه

طیف گسترده‌ای از مواد غذایی گیاهی که در خوراک دام استفاده می‌شوند نظیر کنجاله بادام‌زمینی، ذرت و کنجاله پنبه‌دانه ممکن است به آفلاتوکسین آلوده شوند (Joint et al., 2002). استریگماتوسیستین به عنوان پیش ماده آفلاتوکسین، نیز ممکن است در غلات مورد استفاده در غذای دام و آبزیان یافت شود استفاده می‌شود (Chain, 2013; Viegas et al., 2020). آلودگی به قارچ‌های *Aspergillus* و تولید آفلاتوکسین یا پیش ماده آن ممکن است پیش از برداشت، در زمان برداشت و یا در حین انبارداری غلات در محیط نامساعد به ویژه در دماهی بالاتر از ۲۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت بیش از ۶۲ درصد رخ دهد (Russo and Yanong, 2010). ترکیبات گیاهی فیتالاکسین-گلیسولین برای تشکیل AFB1 توسط *A. flavus* بر روی دانه‌های سویا نقش مؤثری دارد (Song and Karr, 1993). بنابراین، مهم است که وجود آفلاتوکسین‌ها به ویژه در محصولات غذایی که خطر تشکیل سم بیشتری دارند، تحت نظر قرار گیرند. از آن‌جا که آفلاتوکسین‌ها در برابر فرآیندهای حرارتی مقاومت کمتری دارند، اکستروود کرده جیره غذایی آبزیان می‌تواند سبب کاهش غلظت‌های نهایی آفلاتوکسین شود (Manning et al., 2005). با این‌حال، در صورت انبارداری و ذخیره‌سازی نامناسب، غلظت آفلاتوکسین می‌تواند مجدداً افزایش یابد (Agag, 2004).

حداکثر حد مجاز آفلاتوکسین در خوراک ماهیان کمتر ۲۰ میکروگرم بر کیلوگرم است (Food and Administration, 2010). با این وجود، سطح آلودگی آفلاتوکسین در خوراک ماهی در بسیاری از کشورهای جهان به ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری بیش از حد مجاز گزارش شده است (Odoemelam and Osu, 2009; Barbosa et al., 2013; Fallah et al., 2014; Marijani et al., 2017). آفلاتوکسین B1 یک ماده سرطان‌زا و یک هپاتوتوکسین بسیار قوی برای انسان و جانوران نیز محسوب می‌شود (Ostry et al., 2017). بنابراین

میکوتوکسین با کاهش کارایی رشد در ماهی، کم‌خونی، خونریزی، اختلال کبدی، کاهش وزن، افزایش آسیب‌پذیری در برابر بیماری‌های عفونی ثانویه، کاهش ظرفیت تولیدمثل و حتی مرگ‌ومیر (Huang et al., 2017; Marijani et al., 2014) می‌تواند خسارات جدی اقتصادی به صنعت آبزی‌پروری وارد کند (Jantrarat and Lovell, 1990; Santacroce et al., 2008).

### آفلاتوکسین‌ها

آفلاتوکسین‌ها اولین میکوتوکسین‌های هستند که در مواد غذایی کشف شدند. آفلاتوکسین‌ها مشتقات دیفورانونوکومارین هستند و به دلیل فلورسانس طبیعی به رنگ آبی یا سبز دیده می‌شوند. مهم‌ترین آفلاتوکسین‌ها در چهار گروه B1، B2، G1 و G2 طبقه‌بندی می‌شوند. آفلاتوکسین‌ها به‌طور معمول توسط گونه‌های خاص جنس *Aspergillus* (Vaclavikova et al., 2013) تولید می‌شوند. آفلاتوکسین‌های نوع B عمدتاً توسط *Aspergillus* فلواوس *A. flavus* و به مقدار بسیار کمتری توسط *A. parasiticus* و *A. nomius* تولید می‌شود. سایر قارچ‌های رشته‌ای جنس‌های پنسیلیوم، ریزوپوس، موکور و استریپتومایسس نیز از تولیدکنندگان آفلاتوکسین هستند (Agag, 2004). بیوسنتز آفلاتوکسین B1 به استریگماتوسیستین به عنوان پیش ماده نیاز دارد. استریگماتوسیستین عمدتاً توسط *A. nidulans* و *A. versicolor* تولید می‌شود، اما بیوسنتز آن می‌تواند توسط سایر گونه‌های این جنس نیز صورت گیرد (Rank et al., 2011). متابولیت‌های ثانویه مانند استریگماتوسیستین، اسید سیکلوپیاژونیک (CPA)، اسید کوچیک، اسید بتا-نیتروپروپیونیک، آسپرتوکسین، آفلاترم و اسید-آسپرژیلئیک از دیگر ترکیبات سمی هستند که توسط *A. flavus* تولید می‌شوند. *A. parasiticus* علاوه بر آفلاتوکسین B1 و B2، آفلاتوکسین G1 و G2 نیز تولید می‌کند اما CPA را تولید نمی‌کند (Bakos et al., 2013).

جدول ۱- تاثیر آفاتوکسین و استریگماتوکسین بر گونه‌های مختلف ماهیان.

منبع	اثرات	زمان	دوز (mg/kg)	گونه	ماهی	مایکوتوکسین
Farabi, Yousefian et al., 2006	کاهش اشتها و وزن. ضعف عمومی، تغییر در رفتار شنا. ضایعات پوستی خونریزی دهنده در سر و شکم. لکه‌های زرد در ناحیه سینه. احتقانی نخاع. تجمع مایعات خارج‌شده در بطن و کلیه. هیپاتیت و سرطان کبد. التهاب بیش‌ازحد کیسه صفرا.	۱۵ روز	۰/۰۱	<i>Huso huso</i>	فیل ماهی	
El-Sayed and Khalil, 2009	رفتار غیرطبیعی - حرکات کند، عدم تعادل شنا، حرکت سریع چشم و از دست دادن تعادل. تشنج عضلانی قبل از مرگ. خونریزی و لکه‌های زرد در سطح پشتی پوست. تجمع مایعات عفونی و خونریزی در حفره شکم. تیرگی سطح بدن. احتقان عمومی داخلی و تغییر رنگ کم‌رنگ کبد، کلیه و آبشش‌ها. اتساع شدید کیسه صفرا. تغییر در تیرگی چشم و آگزوفتالمی. افزایش فعالیت ترانس آمینازها و آلکالین فسفاتاز سرم. کاهش پروتئین‌های پلاسما، آلبومین و گلوبولین. لاغری مقادیر بالای باقیمانده ( $\approx 0.005 \text{ mg/kg}$ ) در عضله.	۴۲ روز	۰/۰۱۸	<i>Dicentrarchus labrax L.</i>	سیم دریایی	B1 آفاتوکسین
Jantrarotai and Lovell, 1990	حالت تهوع. تغییر رنگ آبشش، کبد، کلیه، طحال، معده و روده. کاهش شاخص گلبول‌های قرمز خون ضایعات بافتی در مخاط روده. نکروز بافت‌های خون‌ساز، سلول‌های کبدی، سلول‌های آسین پانکراس و غدد معده. کاهش حجم پالپ قرمز و تعداد لکوسیت‌ها در طحال. اتساع لومن‌های توبولی کلیه.	۱۰ روز	۱۲	<i>Ictalurus punctus</i>	گرپه ماهی روگامی	
Zychowski, Hoffmann et al., 2013	کاهش وزن و بازده خوراک کاهش سطح چربی کل بدن ضایعات کبدی. بقا را کاهش داد.	۷ هفته	۰/۵-۱	<i>Sciaenops ocellatus</i>	خارماهی سرخ	
Deng, Tian et al., 2010	کاهش وزن و رشد. زرد شدن سطح بدن. اختلالات کبدی - کاهش محتوای لیپید، نفوذ توسط سلول‌های التهابی و مواد، لکه‌های سفید نوزور، نفوذ ماکروفاژها و تخریب و کولار سلول‌های کبدی. کاهش غلظت پروتئین کل و آلبومین.	۲۰ هفته	۰/۰۱۹ ۱/۶۴۱	<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>	تیلاپیا	
Chavez-Sanchez, Palacios et al., 1994	کاهش اشتها و نرخ رشد. تغییرات بافت‌شناسی در کبد - تغییرات نئوپلاستیک و کبد چرب. احتقان کلیه، جمع شدن گلوبومرول و ملانوز.	۲۵ روز	۳-۰/۹	<i>Oreochromis niloticus</i>	تیلاپیا نیل	B1 آفاتوکسین
Tuan, Grizzle et al., 2002	کاهش وزن و همانوکریت. تغییرات در کبد - لیپوفوسین اضافی، هسته سلول‌های کبدی با اندازه نامنظم و نکروز. افزایش مرگ‌ومیر.	۸ هفته	۱۰۰-۰/۲۵	<i>Oreochromis niloticus</i>	تیلاپیا نیل	
Huang, Han et al., 2011	هیچ اثر قابل توجهی در سلامتی مشخص نشد. باقیمانده کم در عضلات (۲/۳۲ میکروگرم بر کیلوگرم) یافت شد	۱۶ هفته	۰/۰۳۲ ۰/۹۹۱۵	<i>Carassius auratus gibelio</i>	ماهی کپور گیبل	
HAN, XIE et al., 2010	صدمات جزئی به کبد لوزالمعده. مقادیر کم سم در عضله ( $> 4$ ) میکروگرم بر کیلوگرم.	۳ ماه	۰/۰۳۲ ۰/۰۲۸۶	<i>Carassius auratus gibelio</i>	ماهی کپور گیبل جوان	
Mwihia, Mbuthia et al., 2018	افزایش اندازه کبد همراه با تغییرات بافت‌شناسی - گره‌های سفید با زرد یا تورم کیست، ضایعات تومور مانند، بندهای نامنظم سلول‌های کبدی غیرطبیعی، نکروز و خونریزی. بزرگ شدن قلب و کلیه‌ها. آسیت شکم متورم.		۰/۰۱۸ ۰/۰۳۹۷	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	قزل‌آلای رنگین کمان	B1 آفاتوکسین + G1
Mwihia, Mbuthia et al., 2018	ضایعات شبه تومور مشاهده نشد.		۰/۰۱۸ ۰/۰۳۹۷	<i>Oreochromis niloticus</i>	تیلاپیا	
Hendricks, Sinnhuber et al., 1980	شیوع کارسینوم سلول‌های کبدی در میان بازماندگان ۱ سال بعد	۱۴ روز	۰/۵	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	جنین قزل‌آلای رنگین کمان	
Abdel-Wahhab, Hasan et al., 2005	کاهش وزن بدن. افزایش فراوانی سلول‌های قرمز خون‌ریز هسته‌ای و انحرافات کروموزومی عمدتاً در کلیه. افزایش مرگ‌ومیر. تجمع ( $\mu 8$ ) میکروگرم / کیلوگرم) در عضله ماهی	۴ هفته	۰/۰۱۶	<i>Oreochromis niloticus</i>	تیلاپیا نیل	Sterigmatocystin
Mahrous, Khalil et al., 2006	تغییرات رفتاری - شنای نامتعادل. رنگ تیره‌تر ضایعات هیستوپاتولوژیک در اندام‌های مختلف - تکثیر بیش‌از حد پلاستیک اپیتلیوم برونش، تغییرات نکروبیوتیک در بافت‌های کبدی و طحال و تخریب اجزای طحال. تغییرات - DNA الگوهای باند چندشکلی.	۴ هفته	۰/۰۱۶	<i>Oreochromis niloticus</i>	تیلاپیا نیل	

(Marijani *et al.*, 2019) (جدول ۱).

حساسیت ماهی به آفلاتوکسین به سن و گونه بستگی دارد، بچه ماهی نسبت به ماهی‌های مسن حساس‌تر و بعضی از گونه‌ها حساس‌تر از دیگران هستند (Russo and Yanong, 2010). تصور می‌شود که اختلاف حساسیت به سن و گونه در حساسیت گونه‌های مختلف ماهی به AFB1 ناشی از تفاوت در متابولیسم AFB1 در کبد باشد (Ngethe *et al.*, 1993; Santacroce *et al.*, 2008). ماهیان آب گرم نسبت به ماهیان آب شیرین نسبت به آفلاتوکسین حساسیت کمتری دارند (Tacon *et al.*, 2011). ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان حساس‌ترین گونه ماهی به آفلاتوکسین است. نشان داده شده است که قرار گرفتن در معرض مزمن سطح پایین این سم (تا حد ۰/۰۰۰۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) احتمال ابتلا به سرطان قزل‌آلای رنگین‌کمان را افزایش می‌دهد (Russo and Yanong, 2010; Scott, 2012).

آفلاتوکسین می‌تواند عملکرد سیستم تولیدمثل در حیوانات نر و ماده را نیز مختل می‌کند (Bbosa *et al.*, 2013). کاهش قابل توجه در وزن تخمدان، باروری و اندازه تخمک ماهی کپور (Huang *et al.*, 2014) و همچنین در کاهش شاخص گنادوسوماتیک، باروری، تعداد اسپرم، فعالیت اسپرم و غلظت سرمی استرادیول  $\beta$ -17 تیلایپینیل (Diab *et al.*, 2000)، پس از تغذیه با جیره آلوده با AFB1 مؤید همین امر است.

#### استریگماتوسیستین

استریگماتوسیستین (Stg)، پیش ماده بیوسنتز آفلاتوکسین است. اثرات سمیت ژنتیکی و آسیب-شناسی استریگماتوسیستین در تیلایپینیل تایید شده است (Mahrous *et al.*, 2006)، استریگماتوسیستین همچنین باعث کاهش وزن بدن و افزایش نرخ ریز هسته‌ها در سلول‌های قرمز، آسیب DNA و اختلالات کروموزومی در کلیه، ضایعات هیستوپاتولوژیک کبد، طحال و آبشش تیلایپینیل می‌شود (Abdel-Wahhab *et al.*, 2005; Mahrous *et al.*, 2006; Abdel-Wahhab *et al.*).

بیشترین مطالعه انجام شده بر روی مایکوتوکسین‌ها حتی در حوزه آبزیان، بر سمیت AFB1 متمرکز شده است (El-Sayed and Khalil, 2009).

اولین علائم سمیت AFB1 شامل تغییر در ترکیب بدن و استرس اکسیداتیو است. اگرچه مسمومیت آفلاتوکسین به‌طور کامل‌تر از سایر مایکوتوکسین‌ها بررسی شده است، اما هنوز عدم قطعیت در تشخیص دقیق آفلاتوکسیکوز در ماهی وجود دارد و مشخص شده است که مصرف خوراکی آفلاتوکسین می‌تواند بر پارامترهای ایمنی ماهی کپور معمولی تأثیر منفی بگذارد؛ سرکوب سیستم ایمنی، کاهش فعالیت لیزوزیم، محتوای کل ایمونوگلوبولین در پلاسما ماهی کپور معمولی و همچنین تغییر در فعالیت آنزیم‌های آلانین آمینوترانسفراز (ALT)، لاکتات دهیدروژناز (LDH)، آسپارات آمینوترانسفراز (AST) و آلکالین فسفاتاز (ALP)، میزان پروتئین کل و گلوبولین، گلوکز، کلسترول، تری گلیسیرید و کراتینین، افزایش قابل توجهی در سطح مالوندی‌آلدئید (MDA) و فعالیت کاتالاز (CAT) در ماهیانی که با رژیم غذایی آلوده با غلظت‌های مختلف آفلاتوکسین تغذیه شدند، مشاهده شد (Taheri *et al.*, 2017; Vaziriyan *et al.*, 2018). علاوه بر این، مسمومیت با آفلاتوکسین می‌تواند موجب بروز آسیب‌های شدید هیستوپاتولوژیک به آبشش‌ها، کبد، پانکراس، کلیه و روده ماهیان شود (Svobodova and Piskac, 1980; Agag, 2004; Tuan *et al.*, 2002; Shahafve *et al.*, 2017). تیرگی و کاتاراکت چشم و در نتیجه آب‌مرورید و کوری، زردی سطح بدن، زخم‌های جلدی، پوسیدگی باله و دم، شنای غیرعادی، حرکات ضعیف و ثابت و کاهش اشتها در ماهیان تیلایپینیل تغذیه شده با غذایی آلوده به آفلاتوکسین نیز گزارش شده است (Caguan *et al.*, 2004). کاهش نرخ بقا، تیرگی، زردی بدن و رفتار غیرطبیعی از مهمترین علائم ناشی از ابتلا به عفونت آفلاتوکسین در تیلایپینیل و ماهیان خاویاری نوجوان مشاهده شده است (Farabi *et al.*, 2006; El-Sayed and Khalil, 2009).

جدول ۲- تاثیر اوکراتوکسین بر گونه‌های مختلف ماهیان.

منبع	اثرات	زمان	دوز (mg/kg)	گونه	ماهی
El-Sayed and Khalil, 2009	تغییرات رفتاری - حرکت کند ، از دست دادن تعادل، حرکت سریع اپرکولوم، تغییر در الگوی شنا و تظاهرات تنفسی. تشنج عضلانی قبل از مرگ. وصله‌های خونریزی دهنده در سطح پشتی. فرسایش باله‌ها و تشکیل لکه‌های زنگ‌زده در ناحیه شکم و عضله پشتی. احتقان عمومی کلیه و آبشش‌ها. لکه‌های احتقان در حاشیه کبد. افزایش مرگ‌ومیر.	۹۶-۲۴ ساعت	۰/۱-۰۰۵/۴	<i>Dicentrarchus labrax L.</i>	باس دریایی
Missmer, Suarez et al., 2006	کاهش در افزایش وزن بدن. کاهش نرخ تبدیل خوراک. کاهش در هماتوکریت. ضایعات در کبد و کلیه خلفی - افزایش میزان بروز و شدت مراکز ملانوموماکروفاژ در بافت هیپوتوپانکراس و کلیه خلفی و کاهش یا عدم وجود سلول‌های پانکراس برون‌ریز اطراف رگ‌های پورتال. افزایش مرگ‌ومیر	۸ هفته	۰/۸-۵	<i>Ictalurus punctus</i>	گره ماهی روگامی
Diab, Salem et al., 2018	کاهش وزن و اشتها، کاهش عملکرد رشد. شنای نامتعادل، ضایعات در کبد ، کلیه‌ها و طحال. بزرگ شدن و گرفتگی کلیه و کبد. اتساع رگ‌های خونی و نکروز کلیه، تخریب و نکروز سلول‌های کبدی. پریکاردیت و میوکاردیت. افزایش سطح آلانین آمینوترانسفراز ، ترانس آمیناز آسپارات، کراتین و اوره. آبشش‌های متراکم. کیسه صفرا بزرگ‌شده. کاهش پروتئین کل ، آلبومین و گلوبولین. نوتروپنی مرگ‌ومیر بالاتر.	۱۴ روز	۳ درصد از وزن بدن ماهی	<i>Oreochromis niloticus</i>	تیلاپیا نیل
Bernhoft, Hogåsen et al., 2018	افزایش قلبیایی فسفاتاز ، کلسترول ، پروتئین کل ، آلبومین و ترانس آمیناز آسپارات. افزایش بیان mRNA نشانگر ایمنی در طحال.	۸ هفته	۰/۲-۲/۴	<i>Salmo salar</i>	آزادماهی اقیانوس اطلس

(Abdel-Wahhab et al., 2005) با این حال، تجمع استریگماتوسیستین در عضله ماهی ممکن است برای سلامت عمومی چندان نگران‌کننده نباشد (Viegas et al., 2020).

#### اوکراتوکسین

اوکراتوکسین (OTA) یکی دیگر از مایکوتوکسین‌ها است غالباً توسط گونه‌های مختلف مایکوتوکسیژنیک *Aspergillus*، *Fusarium* و *Penicillium* جمله *Eurotium* sp. از جمله *Aspergillus* spp. *P. verrucosum*، *A. carbonarius* و *A. ochraceus* و *E. rubrum* و *E. repens*، *E. amstelodami* می‌شوند (Santacroce et al., 2008; Samson et al., 2010; Cardoso Frisvad et al., 2011; Filho et al., 2013; Fallah et al., 2014; Greco et al., 2015; Marijani et al., 2017). سمی‌ترین اوکراتوکسین‌ها، اوکراتوکسین A است، OTA مهم-ترین اوکراتوکسین شناخته شده است و از مشتقات

(2005). استریگماتوسیستین یک ژنوتوکسین و یک ماده سرطان‌زا است که بیشتر روی کبد و کلیه‌ها تأثیر می‌گذارد (جدول ۱). با این حال، سمیت استریگماتوسیستین نسبت به آفلاتوکسین بسیار کمتر است (Scudamore et al., 1998) و Viegas et al., 2020). قرار گرفتن در معرض استریگماتوسیستین باعث کارسینوم هیپاتوسلولار در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌شود (Hendricks et al., 1980).

تجمع زیستی آفلاتوکسین B1، در هیپاتوپانکراس، تخمدان و عضله ماهی کپور گیبل *Carassius auratus gibelio* (Han et al., 2010; Huang et al., 2011)، در کبد و عضله ماهی تتر *Astyanax altiparanae* (Michelini et al., 2017) و در عضله باس دریایی (El-Sayed and Khalil, 2009) و همچنین وجود باقی‌مانده استریگماتوسیستین در بافت‌های خوراکی تیلاپیا نیل گزارش شده است

مشاهده شده است. شنای نامتعادل، امتناع از خوردن غذا، کاهش نرخ بقا، کاهش عملکرد رشد، ضایعات دژنراتیو در کلیه و کبد همراه با نکروز و کاهش پروتئین کل از مهمترین علائم بالینی مسمومیت با اوکراتوکسین است (Diab et al., 2018)، (جدول ۲). قابلیت تجمع اوکراتوکسین در عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (Manning et al., 2003) و تیلاپیا نیل (Guardone et al., 2018) و عضله سی‌باس دریایی و سیم دریایی تأیید شده است (Guardone et al., 2018). نرخ دسترسی زیستی OTA در ماهی ۱/۶ درصد گزارش شده است (Hagelberg et al., 1989)، با این حال، سطوح پایین OTA ممکن است تاثیر معنی‌داری بر صنعت پرورش میگو نداشته باشد (Supamattaya et al., 2005).

#### تریکوتسن‌ها

تریکوتسن‌ها از چندین میکوتوکسین تولیدشده توسط قارچ‌های مختلف متعلق به جنس‌های *Fusarium*، *Cephalosporium* و *Stachybotrys* در محصولات مختلف تشکیل می‌شوند تریکوتسن‌ها به چهار گروه اساسی تقسیم می‌شوند که مهم‌ترین آن‌ها نوع A و B است. تریکوتسن‌های نوع A شامل سم T-2، سم HT-2، نئوسولانیول و دیاستوکسی سیرپنول (DAS) است (Streit et al., 2012). تریکوتسن‌های نوع B شامل دئوکسی‌نیوالنون (DON) است که به‌عنوان وومیتوکسین، نیوالنون NIV و فوسارنون-ایکس نیز شناخته می‌شود. مهم‌ترین میکوتوکسین‌های متعلق به این گروه‌ها شامل سم T-2، DON و NIV هستند و مهم‌ترین تریکوتسن موجود در محصولات زراعی با سمی‌ترین ماده برای حیوانات سموم DON و T-2 است که توسط قارچ‌های جنس *Fusarium*، *Stachybotrys*، *Phomopsis*، *Myrothecium*، *Trichothecium*، *Trichoderma* و غیره تولید می‌شوند (Bennett, 2003). *Fusarium graminearum* تولیدکننده اصلی DON است (Omurtag, 2008). از این بین، DON بیشترین شیوع و بروز را در غلات و خوراک در اروپا نشان

ایزوکومارین محسوب می‌شود (Van der Merwe et al., 1965).

آلودگی غالباً پس از برداشت غلات و در زمان انبارداری اتفاق می‌افتد. اکرآتوکسین A گونه‌ای پایدار و با مقاومت بالا و همراه با نیمه‌عمر طولانی است که از بین بردن آن دشوار است. حداکثر میزان اوکراتوکسین A که توسط کمیسیون اروپا تعیین شده است ۵/۵ میکروگرم بر کیلوگرم برای غلات فرآوری نشده و ۳/۳ میکروگرم بر کیلوگرم برای کلیه محصولات حاصل از فرآوری غلات است (Commission, 2006). کنجاله پنبه‌دانه برای فرمولاسیون خوراک ماهی تنها ماده آلوده به OTA با حداکثر غلظت ۲۴/۲ میکروگرم بر کیلوگرم است (Marijani et al., 2017). سطح مجاز OTA در محصولات زراعی در کشورهای غیر اتحادیه اروپا بین ۲۰ تا ۲۰۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم گزارش شده است (van Egmond and Jonker, 2004). به نظر می‌رسد غلظت OTA در اکثر خوراک‌های ماهی واردشده بسیار کم باشد، اما ممکن است تحت شرایط نامطلوب ذخیره‌سازی، که ممکن است برای ماهی‌ها خطر ایجاد کند، به سطح بالاتری برسد (Tschirren et al., 2018).

OTA برای انسان و جانوران پرورشی سمی است. در مهره‌داران رده بالاتر، اثرات سمی OTA عمدتاً در کلیه و کبد مشاهده می‌شود (Duarte et al., 2011). تاثیر OTA ترانژنیک و سمی در جنین ماهی گورخر گزارش شده است. تغییر شکل شدید، کاهش رشد، استرس اکسیداتیو و افزایش مرگ‌ومیر، آسیب‌های بافت‌شناسی به کلیه‌ها و کبد در ماهی گورخر مشاهده شده است (Tschirren et al., 2018). تغییر در شاخص‌های خون‌شناسی در ماهی تیلاپیا نیل (Adel, 2004)، کاهش عملکرد رشد (Pietsch, 2020) و هماتوکریت در گربه ماهی روگامی (Manning et al., 2005) و ضایعات هیستوپاتولوژیک متوسط تا شدید کبد و کلیه خلفی در گربه ماهی روگامی (Manning et al., 2003) تغذیه شده با رژیم‌های غذایی آلوده به OTA



پارامترهای بیوشیمیایی خون می‌شود (Matejova *et al.*, 2014; Ryerse *et al.*, 2015; Bernhoft *et al.*, 2018). اختلال سرکوب سیستم ایمنی، تغییرات در شاخص‌های خون‌شناسی و واکنش ایمنی پیش‌تهابی، از پیامدهای DON است که می‌تواند در ماهی کپور (Pietsch *et al.*, 2014) و قزل‌آلای رنگین‌کمان (Ryerse *et al.*, 2016) مشاهده شده است (جدول ۳). دئوکسی نیوالنون معمولاً به‌سرعت در کبد متابولیزه می‌شود و در اندام‌های جانوران تجمع نمی‌یابد (Oliveira and Vasconcelos, 2020).

با این حال، تاثیر حفاظتی DON در کاهش مرگ و میر ماهیان مبتلا به برخی از عفونت‌های باکتریایی نیز گزارش شده است. به‌عنوان مثال، تاثیر حفاظتی DON در کاهش نرخ مرگ و میر در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در مواجهه با فلاوباکتریوم روان پرفیوم (Ryerse *et al.*, 2015, Ryerse *et al.*, 2016)، در گربه ماهی روگاهی پس از عفونت ادواردسیلا ایکتالورید (Manning *et al.*, 2014) مؤید این امر است.

### زیرالنون

زیرالنون (ZEN) به گروه شیمیایی لاکتون اسیدهای رزورسیلیک تعلق دارد و یکی از رایج‌ترین میکوتوکسین‌ها در شناخته شده است (Chelkovsky 1998)، که پس از عفونت محصولات زارعی با *Fusarium graminearum* یا *F. sporotrichoides* در مزرعه، و در حین ذخیره‌سازی غلات رخ می‌دهد (Gonzalez *et al.*, 1970; Caldwell *et al.*, 1999). زیرالنون غالباً توسط *Fusarium spp.* به‌ویژه *F. graminearum* و همچنین *F. culmorum*، *F. equiseti* تولید می‌شود (Bennett, 2003). *F. graminearum* تولیدکننده اصلی ترکیب استروژنی ZEN است (Omurtag, 2008).

ZEN و مشتقات آن تنها میکوتوکسین‌های شناخته‌شده با پتانسیل استروژنی هستند و به‌عنوان مواد برهم زننده غدد درون‌ریز طبقه‌بندی می‌شوند

می‌دهد (Rodrigues and Naehrer, 2012).

تریکوتسن‌ها در محصولات مانند ذرت، گندم، جو و جو دوسر، چاودار، برنج (Streit *et al.*, 2012) یافت و تولید می‌شوند. حداکثر میزان DON مجاز کمیسیون اروپا در مواد غذایی است ۱۷۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم برای گندم، جو، جو دوسر و ذرت فرآوری نشده و ۱۲۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم برای هر نوع غیر از محصولا غلات فرآوری شده، تعیین شده است (Commission, 2006). در مورد مواد خوراک، حداکثر میزان DON در محصولات فرعی ذرت ۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و در سایر غلات ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است. در حالی که حد مجاز دئوکسی نیوالنون در ذرت نباید بیش از ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و در سایر غلات بیش از ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است (Monbaliu *et al.*, 2010).

مطالعات کمی در مورد آلودگی DON در جیره آبزیان انجام‌شده است (Santos *et al.* 2010). در اروپای مرکزی بیش از ۸۰ درصد از نمونه‌های خوراک ماهی‌های تجاری با DON با غلظت متوسط ۲۸۹ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت‌شده آلوده‌شده‌اند (Pietsch *et al.* 2013). این در حالی است که سطح آلودگی جیره غذایی تهیه شده در مزارع پرورش آبزیان به بیش از ۷۵۵ میکروگرم بر کیلوگرم DON در هر گرم می‌رسد؛ که این سطح آلودگی بستگی به ترکیبات جیره غذایی نیز بستگی دارد (Marijani *et al.*, 2017, 2013).

تاثیر سمیت حاد و مزمن میکوتوکسین‌های فوزاریوم به دوز، مدت‌زمان قرار گرفتن در معرض و گونه‌های ماهی در معرض آن بستگی دارد (Marijani *et al.*, 2019). اثرات DON بر روی ماهی هنوز به‌طور گسترده ناشناخته است. با این حال، ماهیان از جمله قزل‌آلای رنگین‌کمان نسبت به این سم بسیار حساس می‌باشند (Pietsch *et al.*, 2011). اگرچه قرار گرفتن ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان در معرض DON منجر به مرگ‌ومیر بالایی نمی‌شود، اما مسمومیت با DON موجب کاهش اشتها و کاهش بازده رشد و تغییر در

جدول ۵- تاثیر فومونیسین B1 بر گونه‌های مختلف ماهیان.

منبع	اثرات	زمان	دوز (mg/kg)	گونه	ماهی
Yildirim, Manning et al., 2000	کاهش وزن و اشتها. افزایش نسبت تبدیل خوراک. کاهش در هماتوکریت. افزایش نسبت اسفنگائین / اسفنگوزین آزاد در کبد	۱۰ هفته	۴۰-۲۰	<i>Ictalurus punctus</i>	بچه ماهیان نوس گره ماهی روگامی
Lumlerdacha, Lovell et al., 1995	کاهش در افزایش وزن و اشتها. تعداد هماتوکریت پایین و تعداد گلبول‌های قرمز. رنگ‌پریدگی کبد و کلیه‌ها. ضایعات کبدی - کانون‌های سفید هیپرپلازی سلول‌های چربی زیر کپسولار، کانون‌های کبدی متورم و کوچک‌شده و نکروز سلول‌های کبدی. قسمت شکمی زرد و سفید کبد. مرگ‌ومیر بالاتر به دلیل عفونت	۱۴-۱۰ هفته	۰/۷۲۰-۳	<i>Ictalurus punctus</i>	گره ماهی روگامی
Brown, McCoy et al., 1994	هیچ اثر منفی عمومی بر سلامتی مشاهده نشد. تورم خفیف روده.	۵ هفته	۳۱۳-۳۵	<i>Ictalurus punctus</i>	گره ماهی روگامی
Tuan, Grizzle et al., 2002	کاهش در افزایش وزن. نرخ تبدیل خوراک بالاتر. هماتوکریت پایین. افزایش نسبت بین اسفنگائین آزاد / اسفنگوزین آزاد.	۸ هفته	۱۵۰-۱۰	<i>Oreochromis niloticus</i>	تیلایبای نیل
Petrinec, Pepeljnjak et al., 2004	کاهش وزن بدن. ضایعاتی در کبد، لوزالمعده، کلیه، قلب، کیسه صفرا و مغز و آسیب به رگ‌های خونی. ضایعات اریترودماتیت	۴۲ روز	۱۰۰-۱۰	<i>Cyprinus carpio</i>	کیور معمولی

سیستم ایمنی، جهش ژنتیکی، سمیت کبدی، اختلال در رشد و تکامل جنینی، تغییر در شاخص‌های خون-شناسی، استرس اکسیداتیو، آسیب‌های بافتی و سمیت سلولی شود (Bakos et al., 2013; Pietsch et al., 2015; Pinotti et al., 2016).

#### فومونیسین‌ها

فومونیسین‌ها گروهی از دیسترها هستند که با FB1 و FB2 شناخته شده‌اند و فومونیزین B1 سمی‌ترین فومونیزین است که توسط چندین گونه *Fusarium* نظیر *F. verticillioides*، *F. nygamai proleferatum* و *Alternaria alternata* تولید می‌شود (Oliveira and Vasconcelos, 2020). بیشترین سهم آلودگی جیره غذایی ماهیان به فومونیسین‌ها مربوط به FB1 (۷۰ درصد یا بیشتر کل محتوای فومونیزین) است (Griessler and Encarnaçao, 2009). با این حال، به دلیل پایداری نسبتاً پایین فومونیزین‌ها، این میکوتوکسین ممکن است در فرآیندهای تولید خوراک، حذف شود (Scott, 2012).

فومونیسین، به‌ویژه FB1، در دانه ذرت که یکی از اجزای اصلی خوراک ماهیان گرمابی است یافت می‌شود

(Bucheli et al., 2005; Schwartz et al., 2010; Johns et al., 2011). که می‌توانند بر توانایی تولیدمثل انواع جانوران تأثیر بگذارد (Zhang et al., 2018). فرار گرفتن در معرض ماهی کیور در معرض ZEN منجر به اختلال در کیفیت و تعداد اسپرم می‌شود (Sandor and Vanyi, 1990).

کاهش نرخ زادآوری و باروری نسبی در ماهی زبرا *Danio rerio* در معرض زیرالنون گزارش شده است (Schwartz et al., 2010). زیرالنون در تخمدان ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به مقدار زیاد انباشته شده (Wożny et al., 2013)، اما اثرات این انباشت روی تولیدمثل هنوز کاملاً ناشناخته است (جدول ۴). تولید ZEN با توجه به رطوبت بالا و شرایط دمایی پایین مطلوب است (Placinta et al., 1999). کمیسیون اروپا حداکثر میزان زیرالنون را در مواد غذایی ۳۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم برای ذرت فرآوری نشده و ۱۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم برای سایر غلات فرآوری نشده تعیین کرده است (Commission, 2006). بعلاوه، مشخص شده است که ZEN ژنوتوکسیک بوده و احتمالاً یک ماده سرطان‌زا گروه B۲ است (Ostry et al., 2017). ZEN در ماهی می‌تواند موجب سرکوب

جدول ۴- تاثیر زیرالنون بر گونه‌های مختلف ماهیان.

منبع	اثرات	زمان	دوز (mg/kg)	گونه	ماهی
Schwartz, Thorpe <i>et al.</i> , 2010	افزایش وزن و طول بدن در ماهی‌های ماده. اختلالات جنسی. القای ویتلوژنین پلازما در زنان. افزایش ضریب شرایط نسل بعدی. کاهش عملکرد تولیدمثل نسل بعدی. روی باروری، جوجه ریزی، بقای جنین و مورفولوژی غدد جنسی تأثیر نمی‌گذارد.	۱۴۰ روز	۰/۰۰۱	<i>Danio rerio</i>	ماهی زبرا
Schwartz, Bucheli <i>et al.</i> , 2013	کاهش فراوانی نسبی تخم‌ریزی. کاهش باروری نسبی. القای ویتلوژنین پلازما در ماهی‌های نر.	۴۲ روز	۰/۳-۱/۲	<i>Danio rerio</i>	ماهی زبرا
Woźny, Obremski <i>et al.</i> , 2013	افزایش کارایی تغذیه و سرعت رشد. تعدیل سیستم ایمنی سازگار و ذاتی. التهابی که احتمالاً ناشی از عفونت پاتوژن است. تغییراتی در مورفولوژی کلیه که منجر به ساختار غیرمعمول کلیه و فیبروز می‌شود - لکه‌های مایل به قرمز با مورفولوژی بی‌نظم کلیه با نواحی التهابی و ساختارهای دانه‌ای، لکه‌های سفید یا گره‌های شفاف و مایل به سفید مشاهده می‌شود. پاره شدن سلول‌های خونی. گفته می‌شود التهاب <i>Tetracapsuloides bryosalmonae</i> به دلیل عفونت است. افزایش نسبت آلبومین به گلوبولین (اگرچه از نظر آماری معنی‌دار نیست). غلظت لنفوسیت‌ها کاهش می‌یابد.	۹۶ هفته	۲	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	قزل‌آلای رنگین کمان

(Marijani *et al.*, 2017) با این حال، تاکنون به دلیل پایداری نسبتاً پایین در فرآیندهای تولید خوراک، فومونیزین‌ها به‌عنوان آلاینده‌های بسیار مشکل‌ساز خوراک دام در نظر گرفته نشده‌اند.

دلیل اصلی سمی بودن فومونیزین‌ها تشابه ساختاری آن‌ها با پیش‌سازهای اسفنگولیپیدها است؛ لذا فومونیزین‌ها می‌توانند در متابولیسم اسفنگولیپیدها تداخل ایجاد کنند (Voss and Riley, 2013). غالب-ترین فومونیزین FB1 است که عامل نفروتوکسیک و سمیت کبدی است (Mathur *et al.*, 2001). کاهش اشتها، کاهش وزن، کاهش نرخ رشد و نمو جنین و مرگومیر جنین، مشکلات تنفسی، آسیب‌های کبدی و کارسینوم، فیبروز، سمیت عصبی، هایپرکلسترولمی، بی‌حالی و سرکوب سیستم ایمنی در مهره‌داران بالاتر تغذیه شده با رژیم غذایی آلوده فومونیزین‌ها، مشاهده شد (Stockmann-Juvala and Savolainen, 2008).

اگرچه جزئیات مکانیسم تأثیر فومونیزین بر روی ماهی چندان مشخص نیست، اما کاهش نرخ رشد از مهمترین علائم مسمومیت ماهیان با FB1 است. با این حال، FB1 همچنین دارای اثرات نامطلوب

(Wang *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2010; Reddy and Salleh, 2011; Warth *et al.*, 2012). آلودگی فومونیزین در غلات به منطقه جغرافیایی، فصل و شرایط کاشت، برداشت و ذخیره محصولات بستگی دارد (Mutiga *et al.*, 2015). یکی از آسیب‌های این سم اختلالات در مهره‌داران است که مهم‌ترین بیماری شامل اختلال در متابولیسم اسفنگولیپید است (Wang *et al.*, 1992).

مقادیر توصیه‌شده مجاز برای FB1 و FB2 در مکمل‌های غذایی و جیره کامل در اروپا و ایالات متحده ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شده است (van Egmond and Jonker, 2004). حداکثر میزان مجاز در ذرت فرآوری نشده ۴۰۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم است. در جیره غذایی ماهیان، سطح فومونیزین‌ها پیش از فرآوری نباید بیش از ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و پس از فرآوری نباید بیش از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد (Kyprianou, 2006). سبوس ذرت و دانه‌های سویا مهمترین منبع FB در جیره غذایی آبزیان است (Pinotti *et al.*, 2016; Marijani *et al.*, 2017).

در حالی که آلودگی کنجاله دانه پنبه، کنجاله دانه آفتابگردان و سبوس برنج بسیار ناچیز است

(McKean *et al.*, 2006). تاثیر هم‌افزایی AF و OTA نیز در ماهیان تأیید شده است (Afsah-Hejri *et al.*, 2013).

اکراتوکسین A و سیتیرینین، دو میکوتوکسین نفروتوکسیک هستند که باهم اثرات هم‌افزایی دارند. تریکوتسن‌های سرکوب‌کننده سیستم ایمنی هستند، و می‌توانند تاثیر افزایی در طیف گسترده‌ای از جانوران داشته باشند (Speijers and Speijers, 2004). برخی از فعل‌وانفعالات DON و FB1، دارای اثرات هم‌افزایی و افزودنی بر افسردگی رشد، در مرغ‌ها و خوک‌های گوشتی است، چنین اثراتی ممکن است در ماهی نیز انتظار رود (Marijani *et al.*, 2017). برای آزمایش اثرات هم‌افزایی میکوتوکسین‌ها در صورت آلودگی رژیم‌های غذایی به بیش از یک میکوتوکسین، تحقیقات بیشتری لازم است (Marijani *et al.*, 2019).

#### نتیجه‌گیری

خوراک ماهی و مواد تشکیل‌دهنده آن به‌طور مکرر به قارچ‌های میکوتوکسیژنیک و میکوتوکسین‌ها آلوده می‌شوند. مواد تشکیل‌دهنده، به‌ویژه غلات و دانه‌های روغنی، بستر اصلی میکوتوکسین‌ها در غذای ماهی هستند. استفاده از پوسته بذر به همراه دانه‌های ریز و کوچک (گندم، برنج، جو دوسر و سورگوم) و آن‌هایی که در لایه‌های دانه سخت (لوبیا و سویا) قرار گرفته‌اند، می‌تواند باعث کاهش آلودگی میکوتوکسین در خوراک‌ها شود زیرا حساسیت آن‌ها به تشکیل عفونت قارچی و میکوتوکسین نسبت به دانه‌های بزرگ‌تر مانند ذرت کمتر است. از آن‌جا که میکوتوکسین‌ها در شرایط ذخیره‌سازی نیز تولید می‌شوند، نظارت بر مواد اولیه و همچنین خوراک‌های نهایی بسیار مهم خواهد بود. آگاهی و حساسیت در مورد ذخیره‌سازی مناسب، مدت‌زمان و شرایط نگهداری و مواد تشکیل‌دهنده به کشاورزان، تولیدکنندگان مواد غذایی و پرورش دهندگان توصیه شود. باید از عوامل ضد قارچی برای کاهش آلودگی میکوتوکسین در مواد اولیه خوراک و

فیزیولوژیکی بیشتر بر روی کلیه و کبد است، FB1 می‌تواند با تداخل در سیستم ایمنی بدن، باعث تغییر در مقاومت به بیماری در ماهی شود (Lumlertdacha *et al.*, 1995). تغییر در شاخص‌های خونی و افزایش مرگ‌ومیر در ماهی‌ها (Pietsch, 2020)، آسیب‌های بافتی به کبد، مغز و عروق خونی (Meredith *et al.*, 1998; Carlson *et al.*, 2001; Kovačić *et al.*, 2009)، آسیب به اندام‌های حیاتی (Petrinec *et al.*, 2004)، کاهش عملکرد رشد (Selim *et al.*, 2014; Tola *et al.*, 2015)، افزایش نسبت اسفنگانین به اسفنگوزین آزاد (Yildirim *et al.*, 2002; Tuan *et al.*, 2000) و افزایش نرخ مرگ سلولی در ماهیانی که با رژیم غذایی آلوده به فومونیسین تغذیه شده‌اند، مشاهده شده است (جدول ۵). هیچ گزارشی در مورد تجمع فومونیزین در عضله ماهی وجود ندارد. بدین ترتیب، به نظر نمی‌رسد که مصرف ماهی هیچ‌گونه خطر امنیتی در رابطه با این سم برای مصرف‌کنندگان داشته باشد. با این حال، برای درک تأثیرات این سموم بر روی ماهی، مطالعات بیشتری لازم است (Oliveira and Vasconcelos, 2020).

#### اثرات هم‌افزایی در میکوتوکسین‌ها

مسمومیت با میکوتوکسین‌ها اغلب به‌طور هم‌زمان رخ می‌دهد (Barbosa *et al.*, 2013) آلودگی‌های متعدد میکوتوکسین در خوراک ماهی بسیار مهم است زیرا میکوتوکسین‌ها ممکن است از نظر سم‌شناسی با یکدیگر تعامل داشته باشند و باعث ایجاد اثرات هم‌افزایی مشخص شوند (Njobeh *et al.*, 2012). اطلاعات محدودی در مورد تاثیر سینرژیک میکوتوکسین‌ها در غلظت‌های مختلف در گونه‌های مختلف آبزیان پرورشی وجود دارد (Carlson *et al.*, 2001). اثر فردی و هم‌افزایی DON و AFB1 بر سلول‌های کبدی اولیه کپور معمولی بیشتر از اثرات میکوتوکسین‌های منفرد است (He *et al.*, 2010). اثرات هم‌افزایی سم AFB1 و T-2 در ماهی گامبوزیا (*Gambusia affinis*) نیز گزارش شده است

جدول 5- تاثیر فومونیسین B1 بر گونه‌های مختلف ماهیان.

منبع	اثرات	زمان	دوز (mg/kg)	گونه	ماهی
Yildirim, Manning <i>et al.</i> , 2000	کاهش وزن و اشتها. افزایش نسبت تبدیل خوراک. کاهش در هماتوکریت. افزایش نسبت اسفنگانین / اسفنگوزین آزاد در کبد	۱۰ هفته	۲۰-۴۰	<i>Ictalurus punctus</i>	بچه ماهیان نرس گربه ماهی روگاهی
Lumlertdacha, Lovell <i>et al.</i> , 1995	کاهش در افزایش وزن و اشتها. تعداد هماتوکریت پایین و تعداد گلبول‌های قرمز. رنگ‌پریدگی کبد و کلیه‌ها. ضایعات کبدی - کانون‌های سفید هیپرپلازی سلول‌های چربی زیر کپسولار، کانون‌های کبدی متورم و کوچک‌شده و نکروز سلول‌های کبدی. قسمت شکمی زرد و سفید کبد. مرگ‌ومیر بالاتر به دلیل عفونت	۱۰-۱۴ هفته	۰/۳-۷۲۰	<i>Ictalurus punctus</i>	گربه ماهی روگاهی
Brown, McCoy <i>et al.</i> , 1994	هیچ اثر منفی عمومی بر سلامتی مشاهده نشد. تورم خفیف روده.	۵ هفته	۳۵-۳۱۳	<i>Ictalurus punctus</i>	گربه ماهی روگاهی
Tuan, Grizzle <i>et al.</i> , 2002	کاهش در افزایش وزن. نرخ تبدیل خوراک بالاتر. هماتوکریت پایین. افزایش نسبت بین اسفنگانین آزاد / اسفنگوزین آزاد.	۸ هفته	۱۰-۱۵۰	<i>Oreochromis niloticus</i>	تیلابای نیل
Petrinec, Pepeljnjak <i>et al.</i> , 2004	کاهش وزن بدن. ضایعاتی در کبد، لوزالمعده، کلیه، قلب، کیسه صفرا و مغز و آسیب به رگ‌های خونی. ضایعات اریترودماتیت	۴۲ روز	۱۰-۱۰۰	<i>Cyprinus carpio</i>	کپور معمولی

Agag B. 2004. Mycotoxins in foods and feeds: 1-aflatoxins. *Assiut University Bulletin for Environmental Researches* 7(1), 173-205.

Anater A., Manyes L. Meca G., Ferrer E., Luciano F.B., Pimpão C.T., Font G. 2016. Mycotoxins and their consequences in aquaculture: A review. *Aquaculture* 451, 1-10.

Bakos K., Kovács R., Staszny Á., Sipos D.K., Urbányi B., Müller F., Csenki Z., Kovács B. 2013. Developmental toxicity and estrogenic potency of zearalenone in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology* 136: 13-21.

Barbosa T.S., Pereyra C.M., Soleiro C.A., Dias E.O., Oliveira A.A., Keller K.M., Silva P.P., Cavaglieri L.R., Rosa C.A. 2013. Mycobiota and mycotoxins present in finished fish feeds from farms in the Rio de Janeiro State, Brazil. *International Aquatic Research* 5(1), 3.

Barrows F.T., Bellis D., Krogdahl Å., Silverstein J.T., Herman E.M., Sealey W.M., Rust M.B. and Gatlin D.M. 2008. Report of the plant products in aquafeed strategic planning workshop: an integrated, interdisciplinary research roadmap for increasing utilization of plant feedstuffs in diets for carnivorous fish. *Reviews in Fisheries Science* 16(4), 449-455.

Battilani P., Toscano P., Van der Fels-Klerx H., Moretti A., Leggieri M.C., Brera C., Rortais A., Goumperis T., Robinson T. 2016. Aflatoxin B 1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Scientific Reports* 6, 24328.

Bbosa G.S., Kitya D., Odda J., Ogwal-Okeng J.

خوراک‌های کامل ماهی استفاده شود. مصرف مایکوتوکسین‌ها توسط آبزیان می‌تواند میزان بیماری، مرگ‌ومیر اختلالات تولیدمثلی را افزایش دهد و باعث کاهش عملکرد رشد و افزایش خسارات اقتصادی شود. علاوه بر این، تجمع دوزهای کم مایکوتوکسین در عضله ماهی ممکن است تهدیدی جدی برای سلامتی مصرف‌کنندگان آن باشد، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه یا در مناطقی که مصرف غلات زیاد است.

#### منابع

Abdel-Wahhab M.A., Hasan A.M., Aly S.E., Mahrous K.F. 2005. Adsorption of sterigmatocystin by montmorillonite and inhibition of its genotoxicity in the Nile tilapia fish (*Oreochromis niloticus*). *Mutation research/genetic toxicology and environmental mutagenesis* 582(1-2), 20-27.

Adel M.S. 2004. The opposing effect of ascorbic acid (vitamin C) on ochratoxin toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Proceedings of the 6th International Symposium on Tilapia in Aquaculture* 2004.

Afsah-Hejri L., Jinap S., Hajeb P., Radu S., Shakibazadeh S. 2013. A review on mycotoxins in food and feed: Malaysia case study. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12(6), 629-651.

- Chain E.P.O.C.I.T.F. 2013. Scientific Opinion on the risk for public and animal health related to the presence of sterigmatocystin in food and feed. *EFSA Journal* 11(6), 3254.
- Chakraborty P., Mallik A., Sarang N., Lingam S.S. 2019. A review on alternative plant protein sources available for future sustainable aqua feed production. *International Journal of Chemical Studies* 7, 1399-1404.
- Charo-Karisa H., Gichuri M. 2010. Overview of the fish farming enterprise productivity program." End of Year Report Fish Farming Enterprise Productivity Program Phase I, *Aquaculture Development Working Group Ministry of Fisheries Development, Kenya*.
- Chavez-Sanchez M.C., Palacios C.M., Moreno I.O. 1994. Pathological effects of feeding young *Oreochromis niloticus* diets supplemented with different levels of aflatoxin B1. *Aquaculture* 127(1), 49-60.
- Cheong K.K., Strub C., Montet D., Durand N., Alter P., Meile J.-C., Galindo S.S., and Fontana A. 2016. Effect of different light wavelengths on the growth and ochratoxin A production in *Aspergillus carbonarius* and *Aspergillus westerdijkiae*. *Fungal Biology* 120(5), 745-751.
- Commission E. 2006. Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union* 364, 5-24.
- Deng S.-X., Tian L.-X., Liu F.-J., Jin S.-J., Liang G.-Y., Yang H.-J., Du Z.-Y., Liu Y.-J. 2010. Toxic effects and residue of aflatoxin B1 in tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) during long-term dietary exposure. *Aquaculture* 307(3-4), 233-240.
- Dersjant-Li Y. 2002. The use of soy protein in aquafeeds. *Avances en Nutrición Acuicola*.
- Diab A., Abuzead S., Abou El Magd M. 2000. Effect of aflatoxin B1 on reproductive traits in *Oreochromis niloticus* and *Oreochromis aureus* and its control. Proceedings of the 5th International Symposium on Tilapia Aquaculture.
- Diab A.M., Salem R., Abeer E.-K. M., Ali G.I., El-Habashi N. 2018. Experimental ochratoxicosis A in Nile tilapia and its amelioration by some feed additives." *International Journal of Veterinary Science and Medicine* 6(2), 149-158.
- Duarte S.C., Lino C.M., Pena A. 2011. Ochratoxin A in feed of food-producing animals: An undesirable mycotoxin with health and performance effects. *Veterinary Microbiology* 154(1-2), 1-13.
- El-Sayed Y.S., Khalil R.H. 2009. Toxicity, biochemical effects and residue of aflatoxin B1 2013. Aflatoxins metabolism, effects on epigenetic mechanisms and their role in carcinogenesis. *Health* 5, 14-34.
- Bennett J. 2003. Klich M. Mycotoxins. *clinical microbiology Reviews* 16(3), 497-516.
- Bernhoft A., Høgåsen H.R., Rosenlund G., Moldal T., Grove S., Berntssen M.H., Thoresen S.I., Alexander J. 2018. Effects of dietary DON or ochratoxin A on performance and selected health indices in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food and Chemical Toxicology* 121, 374-386.
- Berthiller F., Sulyok M., Krska R., Schuhmacher R. 2007. Chromatographic methods for the simultaneous determination of mycotoxins and their conjugates in cereals. *International Journal of Food Microbiology* 119(1-2), 33-37.
- Brown D.W., McCoy C.P., Rottinghaus G.E. 1994. Experimental feeding of *Fusarium moniliforme* culture material containing fumonisin B1 to channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* 6(1), 123-124.
- Bryden W.L. 2012. Mycotoxin contamination of the feed supply chain: Implications for animal productivity and feed security. *Animal Feed Science and Technology* 173(1-2), 134-158.
- Bucheli T.D., Erbs M., Hartmann N., Vogelgsang S., Wettstein F.E., Forrer H. 2005. Estrogenic mycotoxins in the environment. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene* 96(6), 386.
- Cagauan A.G., Tayaban R.H., Somga J., Bartolome R.M. 2004. Effect of aflatoxin-contaminated feeds in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Abstract of the 6th international symposium on tilapia in aquaculture (ISTA 6) section: *health management and diseases Manila, Philippines*.
- Caldwell R.W., Tuite J., Stob M., Baldwin R. 1970. Zearalenone production by *Fusarium* species. *Applied Microbiology* 20(1), 31-34.
- Cardoso Filho F.D.C., Calvet R.M., Rosa C.A.D.R., Pereira M.M.G., Costa A.P.R., Muratori M.C.S. 2013. Monitoramento de fungos toxigênicos e aflatoxinas em rações utilizadas em piscicultura. *Ciência Animal Brasileira* 14(3), 305-311.
- Carlson D.B., Williams D.E., Spitsbergen J.M., Ross P.F., Bacon C.W., Meredith F.I., Riley R.T. 2001. Fumonisin B1 promotes aflatoxin B1 and N-methyl-N'-nitro-nitrosoguanidine-initiated liver tumors in rainbow trout. *Toxicology and Applied Pharmacology* 172(1), 29-36.
- Chain E.P.O.C.I.T.F. 2011. Scientific Opinion on the risks for animal and public health related to the presence of T2 and HT2 toxin in food and feed. *EFSA Journal* 9(12), 2481.

- Veterinary Public Health Annual Scientific Conference 2018, *European College of Veterinary Public Health*.
- Hagelberg S., Hult K., Fuchs R. 1989. Toxicokinetics of ochratoxin A in several species and its plasma-binding properties. *Journal of Applied Toxicology* 9(2), 91-96.
- HAN D., XIE S., ZHU X., Yang Y., Guo Z. 2010. Growth and hepatopancreas performances of gibel carp fed diets containing low levels of aflatoxin B1. *Aquaculture Nutrition* 16(4), 335-342.
- He C.-H., Fan Y.-H., Wang Y., Huang C.-Y., Wang X.-C., Zhang H.-B. 2010. The individual and combined effects of DON and aflatoxin B1 on primary hepatocytes of *Cyprinus carpio*. *International Journal of Molecular Sciences* 11(10), 3760-3768.
- Hendricks J.D., Sinnhuber R.O., Wales J.H., Stack M.E. and Hsieh D.P. 1980. Hepatocarcinogenicity of sterigmatocystin and versicolorin A to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) embryos. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute* 64(6), 1503-1509.
- Hooft J.M., Encarnaçao P., Bureau D.P. 2011. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is extremely sensitive to the feed-borne Fusarium mycotoxin DON(DON). *Aquaculture* 311(1-4), 224-232.
- Huang Y., Han D., Xiao X., Zhu X., Yang Y., Jin J., Chen Y., Xie S. 2014. Effect of dietary aflatoxin B1 on growth, fecundity and tissue accumulation in gibel carp during the stage of gonad development. *Aquaculture* 428, 236-242.
- Huang Y., Han D., Zhu X., Yang Y., Jin J., Chen Y., Xie S. 2011. Response and recovery of gibel carp from subchronic oral administration of aflatoxin B1. *Aquaculture* 319(1-2), 89-97.
- Jantrarat W., Lovell R.T. 1990. Subchronic toxicity of dietary aflatoxin B1 to channel catfish." *Journal of Aquatic Animal Health* 2(4), 248-254.
- Jayaraman P., Kalyanasundaram I. 1990. Natural occurrence of toxigenic fungi and mycotoxins in rice bran. *Mycopathologia* 110(2), 81-85.
- Johns S.M., Denslow N.D., Kane M.D., Watanabe K.H., Orlando E.F., Sepúlveda M.S. 2011. Effects of estrogens and antiestrogens on gene expression of fathead minnow (*Pimephales promelas*) early life stages. *Environmental Toxicology* 26(2), 195-206.
- Joint F., Additives W.E.C.O.F., Organization W.H.O 2002. Evaluation of certain mycotoxins in food: fifty-sixth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, *World Health Organization*.
- Kovačić S., Pepeljnjak S., Pertinec Z., Šegvić Klarić M. 2009. Fumonisin B1 neurotoxicity in marine water-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Food and Chemical Toxicology* 47(7), 1606-1609.
- Enyidi U.D., Pirhonen J., Kettunen J., Vielma J. 2017. Effect of feed protein: lipid ratio on growth parameters of african catfish *clarias gariepinus* after fish meal substitution in the diet with bambaranut (*Voandzeia subterranea*) meal and soybean (*Glycine max*) meal. *Fishes* 2(1), 1.
- Fallah A., Pirali-Kheirabadi E., Rahnama M., Saei-Dehkordi S., Pirali-Kheirabadi K. 2014. Mycoflora, aflatoxigenic strains of *Aspergillus* section Flavi and aflatoxins in fish feed. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods* 6(4), 419-424.
- Farabi S., Yousefian M., Hajimoradloo A. 2006. Aflatoxicosis in juvenile *Huso huso* fed a contaminated diet. *Journal of Applied Ichthyology* 22, 234-237.
- Food., Nations A.O.O.T.U. 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018—Meeting the sustainable development goals. *FAO*.
- Food U., Administration D. 2010. Guidance for industry and FDA: Advisory levels for DON(DON) in finished wheat products for human consumption and grains and grain by-products used for animal feed. *US FDA: Silver Spring, MD, USA*.
- Frisvad J.C., Larsen T.O., Thrane U., Meijer M., Varga J., Samson R.A., Nielsen K.F. 2011. Fumonisin and ochratoxin production in industrial *Aspergillus niger* strains. *PLoS One* 6(8), e23496.
- Garcia D., Barros G., Chulze S., Ramos A.J., Sanchis V., Marín S. 2012. Impact of cycling temperatures on *Fusarium verticillioides* and *Fusarium graminearum* growth and mycotoxins production in soybean. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92(15), 2952-2959.
- Gonzalez H.H., Martinez E.J., Pacin A.M., Resnik S.L., Sydenham E.W. 1999. Natural co-occurrence of fumonisins, deoxynivalenol, zearalenone and aflatoxins in field trial corn in Argentina. *Food Additives and Contaminants* 16(12), 565-569.
- Greco M., Pardo A., Pose G. 2015. Mycotoxigenic fungi and natural co-occurrence of mycotoxins in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feeds. *Toxins* 7(11), 4595-4609.
- Griessler K., Encarnaçao P. 2009. Fumonisin-mycotoxins of increasing importance in fish. *Aquaculture Asia Magazine*.
- Guardone L., Tinacci L., Luci G., Meucci V., Intorre L., Armani A. 2018. Determination of Ochratoxin A in European seabass and Gilthead seabream farmed in Italy. *European College of*

- Kigadye E., Okoth S. 2017. Mycoflora and mycotoxins in finished fish feed and feed ingredients from smallholder farms in East Africa. *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 43(2), 169-176.
- Matejova I., Modra H., Blahova J., Franc A., Fictum P., Sevcikova M., Svobodova Z. 2014. The effect of mycotoxin DON on haematological and biochemical indicators and histopathological changes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *BioMed Research International* 2014, 310680.
- Mathur S., Constable P.D., Eppley R.M., Waggoner A.L., Tumbleson M.E., Haschek W.M. 2001. Fumonisin B1 is hepatotoxic and nephrotoxic in milk-fed calves. *Toxicological Sciences* 60(2), 385-396.
- McKean C., Tang L., Tang M., Billam M., Wang Z., Theodorakis C., Kendall R., Wang J.-S. 2006. Comparative acute and combinative toxicity of aflatoxin B1 and fumonisin B1 in animals and human cells. *Food and Chemical Toxicology* 44(6), 868-876.
- Meredith F.I., Riley R.T., Bacon C.W., Williams D.E., Carlson D.B. 1998. Extraction, quantification, and biological availability of fumonisin B1 incorporated into the Oregon test diet and fed to rainbow trout. *Journal of Food Protection* 61(8), 1034-1038.
- Michelin E., Massocco M., Godoy S., Baldin J., Yasui G., Lima C., Rottinghaus G., Sousa R., Fernandes A. 2017. Carryover of aflatoxins from feed to lambari fish (*Astyanax altiparanae*) tissues. *Food Additives and Contaminants: Part A* 34(2), 265-272.
- Missmer S.A., Suarez L., Felkner M., Wang E., Merrill A.H., Jr, K. Rothman J., Hendricks K.A. 2006. Exposure to fumonisins and the occurrence of neural tube defects along the Texas-Mexico border. *Environmental Health Perspectives* 114(2), 237-241.
- Monbaliu S., Van Poucke C., Detavernier C.I., Dumoulin F., Van De Velde M., Schoeters E., Van Dyck S., Averkieva O., Van Peteghem C., De Saeger S. 2010. Occurrence of mycotoxins in feed as analyzed by a multi-mycotoxin LC-MS/MS method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58(1), 66-71.
- Montville T.J., Shih P.-L. 1991. Inhibition of mycotoxigenic fungi in corn by ammonium and sodium bicarbonate. *Journal of Food Protection* 54(4), 295-297.
- Mutiga S.K., Hoffmann V., Harvey J.W., Milgroom M.G. and Nelson R.J. 2015. Assessment of aflatoxin and fumonisin contamination of maize in western Kenya. *Phytopathology* 105(9), 1250-1261.
- Mwihia E.W., Buthia P.G., Eriksen G.S., young carp (*Cyprinus carpio* L.). *Arhiv za higijenu Rada i Toksikologiju* 60(4), 419-425.
- Krogh P. 1969. The pathology of mycotoxicoses. *Journal of Stored Products Research* 5(3), 259-264.
- Kyprianou M. 2006. European Commission: Commission Recommendation of 17 August 2006 on the presence of deoxynivalenol, zearalenone, Ochratoxin A, T-2 and HT-2 and fumonisins in products intended for animal feeding (2006/576/EC). *Official Journal of the European Communities* 229, 7-9.
- Liti D., Cherop L., Munguti J., Chhorn L. 2005. Growth and economic performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed on two formulated diets and two locally available feeds in fertilized ponds. *Aquaculture Research* 36(8), 746-752.
- Lumlertdacha S., Lovell R.T., Shelby R.A., Lenz S.D., Kemppainen B.W. 1995. Growth, hematology, and histopathology of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fed toxins from *Fusarium moniliforme*. *Aquaculture* 130(2-3), 201-218.
- Mahrous K.F., Khalil W.K.B., Mahmoud M.A. 2006. Assessment of toxicity and clastogenicity of sterigmatocystin in Egyptian Nile tilapia. *African Journal of Biotechnology* 5(12), 1180-1189.
- Manning B.B., Abbas H.K., Wise D.J., Greenway T. 2014. The effect of feeding diets containing DON contaminated corn on channel catfish (*Ictalurus punctatus*) challenged with *Edwardsiella ictaluri*. *Aquaculture Research* 45(11), 1782-1786.
- Manning B.B., Li M.H. and Robinson E.H. 2005. Aflatoxins from moldy corn cause no reductions in channel catfish *Ictalurus punctatus* performance. *Journal of the World Aquaculture Society* 36(1), 59-67.
- Manning B.B., Ulloa R.M., Li M.H., Robinson E.H., Rottinghaus G.E. 2003. Ochratoxin A fed to channel catfish (*Ictalurus punctatus*) causes reduced growth and lesions of hepatopancreatic tissue. *Aquaculture* 219(1-4), 739-750.
- Marijani E., Kigadye E., Okoth S. 2019. Occurrence of Fungi and Mycotoxins in Fish Feeds and Their Impact on Fish Health. *International Journal of Microbiology* 12(3), 160.
- Marijani E., Nasimolo J., Kigadye E., Gnonlonfin G.J.B., Okoth S. 2017. Sex-related differences in hematological parameters and organosomatic indices of *Oreochromis niloticus* exposed to aflatoxin B1 diet. *Scientifica* 2017, 4268926.
- Marijani E., Wainaina J.M., Charo-Karisa H., Nzayisenga L., Munguti J., Gnonlonfin G.J.B.,



- Pietsch C., Junge R., Burkhardt-Holm P. 2015. Immunomodulation by zearalenone in carp (*Cyprinus carpio* L.). *BioMed Research International* 2015, 420702.
- Pietsch C., Kersten S., Burkhardt-Holm P., Valenta H., Dänicke S. 2013. Occurrence of DON and zearalenone in commercial fish feed: An initial study. *Toxins* 5(1), 184-192.
- Pietsch C., Michel C., Kersten S., Valenta H., Dänicke S., Schulz C., Kloas W., Burkhardt-Holm P. 2014. In vivo effects of DON (DON) on innate immune responses of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Food and Chemical Toxicology* 68, 44-52.
- Pinotti L., Ottoboni M., Giromini C., Dell'Orto V., and Cheli F. 2016. Mycotoxin contamination in the EU feed supply chain: a focus on cereal byproducts. *Toxins* 8(2), 45.
- Pitt J. 2000. Toxicogenic fungi and mycotoxins. *British medical bulletin* 56(1), 184-192.
- Placinta, C., D'Mello J.F., Macdonald A. 1999. A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. *Animal Feed Science and Technology* 78(1-2), 21-37.
- Puri, S., Shingh S., Tiwari P. 2019. Mycotoxins: A Threat to Food Security and Health. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology* 7(3), 298-303.
- Rank C., Nielsen K.F., Larsen T.O., Varga J., Samson R.A., Frisvad J.C. 2011. Distribution of sterigmatocystin in filamentous fungi. *Fungal Biology* 115(4-5), 406-420.
- Reddy K., B. Salleh 2011. Co-occurrence of moulds and mycotoxins in corn grains used for animal feeds in Malaysia. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 10(5), 668-673.
- Roberts S.M., James R.C., Williams P.L. 2014. Principles of toxicology: environmental and industrial applications, John Wiley & Sons.
- Rodrigues I., Naehrer K. 2012. A three-year survey on the worldwide occurrence of mycotoxins in feedstuffs and feed. *Toxins* 4(9), 663-675.
- Russo J., Yanong R.P. 2010. Molds in fish feeds and aflatoxicosis. *Institute of Food and Agriculture Sciences, University of Florida*. Fa95, 1-4.
- Ryerse I., Hooft J., Bureau D., Hayes M., Lumsden J. 2015. Purified DON or feed restriction reduces mortality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), with experimental bacterial coldwater disease but biologically relevant concentrations of DON do not impair the growth of *Flavobacterium psychrophilum*. *Journal of fish diseases* 38(9), 809-819.
- Ryerse I.A., Hooft J.M., Bureau D.P., Anthony Hayes M., Lumsden J.S. 2016. Diets containing
- Gathumbi J.K., Maina J.G., Mutoloki S., Waruiru R.M., Mulei I.R., Lyché J.L. 2018. Occurrence and levels of aflatoxins in fish feeds and their potential effects on fish in Nyeri, Kenya. *Toxins* 10(12), 543.
- Naylor R.L., Hardy R.W., Bureau D.P., Chiu A., Elliott M., Farrell A.P., Forster I., Gatlin D.M., Goldberg R.J., Hua K. 2009. Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(36), 15103-15110.
- Ngethe S., Horsberg T.E. Mitema, E., Ingebrigtsen K. 1993. Species differences in hepatic concentration of orally administered 3H-AFB1 between rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 114(3-4), 355-358.
- Njobeh P.B., Dutton M.F., Åberg A.T., Haggblom P. 2012. Estimation of multi-mycotoxin contamination in South African compound feeds. *Toxins* 4(10), 836-848.
- Odoemelam S., Osu C. 2009. Evaluation of the phytochemical content of some edible grains marketed in Nigeria. *Journal of Chemistry* 6(4), 1193-1199.
- Oliveira M., Vasconcelos V. 2020. Occurrence of Mycotoxins in Fish Feed and Its Effects: A Review. *Toxins* 12(3), 160.
- Olorunfemi M., Odebo A., Olawuyi O., C. Ezekiel 2013. Multi-mycotoxin contaminations in fish feeds from different agro-ecological zones in Nigeria. *Proceedings of the Tropentag 2013 International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development*.
- Omurtag G.Z. 2008. Fumonisin, trichothecenes and zearalenone in cereals. *International Journal of Molecular Sciences* 9(11), 2062-2090.
- Ostry V., Malir F., Toman J., Grosse Y. 2017. Mycotoxins as human carcinogens—the IARC Monographs classification. *Mycotoxin Research* 33(1), 65-73.
- Paterson R.R.M., Lima N. 2011. Further mycotoxin effects from climate change. *Food Research International* 44(9), 2555-2566.
- Petrinec Z., Pepeljnjak S., Kovacic S., Krznaric A. 2004. Fumonisin B<sub>1</sub> causes multiple lesions in common carp (*Cyprinus carpio*). *Prevalence* 2, 8.
- Pietsch C. 2020. Risk assessment for mycotoxin contamination in fish feeds in Europe. *Mycotoxin Research* 36(1), 41-62.
- Pietsch C., Bucheli T.D., Wettstein F.E., Burkhardt-Holm P. 2011. Frequent biphasic cellular responses of permanent fish cell cultures to DON (DON). *Toxicology and Applied Pharmacology* 256(1), 24-34.

- Toxicology Letters 153(1), 91-98.
- Stockmann-Juvala H., Savolainen K. 2008. A review of the toxic effects and mechanisms of action of fumonisin B1. *Human and Experimental Toxicology* 27(11), 799-809.
- Streit E., Schatzmayr G., Tassis P., Tzika E., Marin D., Taranu I., Tabuc C., Nicolau A., Aprodu I., Puel O. 2012. Current situation of mycotoxin contamination and co-occurrence in animal feed—Focus on Europe. *Toxins* 4(10), 788-809.
- Supamattaya K., Sukrakanchana N., Boonyaratpalin M., Schatzmayr D., Chittiwat V. 2005. Effects of ochratoxin A and DON on growth performance and immunophysiological parameters in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 27(1), 91-99.
- Supartini A., Oishi T., Yagi N. 2018. Changes in fish consumption desire and its factors: A comparison between the United Kingdom and Singapore. *Foods* 7(7), 97.
- Svobodova Z., Piskac A. 1980. Effect of feeds with a low content of aflatoxin B1 on the health of carp (*Cyprinus carpio*). *Živočišná Výroba* 25(11), 809-814.
- Tacon A.G., Hasan M.R., Metian M. 2011. Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans: trends and prospects. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* (564), 1-102.
- Taheri S., Banaee M., Nematdoost Haghi B., and Mohiseni M. 2017. Evaluation of nephrotoxic effects of aflatoxins on common carp (*Cyprinus carpio*). *Iranian Journal of Toxicology* 11(2), 51-58.
- Taniwaki M., Hocking A., Pitt J., Fleet G. 2009. Growth and mycotoxin production by food spoilage fungi under high carbon dioxide and low oxygen atmospheres. *International Journal of Food Microbiology* 132(2-3), 100-108.
- Tola S., Bureau D.P., Hooft J.M., Beamish F.W., Sulyok M., Krska R., Encarnaçao P., Petkam R. 2015. Effects of wheat naturally contaminated with *Fusarium* mycotoxins on growth performance and selected health indices of red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). *Toxins* 7(6), 1929-1944.
- Tschirren L., Siebenmann S., Pietsch C. 2018. Toxicity of ochratoxin to early life stages of zebrafish (*Danio rerio*). *Toxins* 10(7), 264.
- Tuan N.A., Grizzle J.M., Lovell R.T., Manning B.B., Rottinghaus G.E. 2002. Growth and hepatic lesions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing aflatoxin B1. *Aquaculture* 212(1-4), 311-319.
- Tveterås S., Asche F., Bellemare M.F., Smith M. D., Guttormsen A.G., Lem A., Lien K., Vannuccini S. 2012. Fish is food—the FAO's corn naturally contaminated with DON reduces the susceptibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to experimental *Flavobacterium psychrophilum* infection. *Aquaculture Research* 47(3), 787-796.
- Samson R., Houbraeken J., Thrane U., Frisvad J., Andersen B. 2010. Food and indoor fungi: CBS-KNAW fungal biodiversity centre, Utrecht The Netherlands. 2, 390.
- Sandor, G., Vanyi A. 1990. Mycotoxin research in the Hungarian Central Veterinary Institute ". *Acta Veterinaria Hungarica* 38(1-2), 61-68.
- Santacroce M.P., Conversano M., Casalino E., Lai O., Zizzadoro C., Centoducati G., Crescenzo G. 2008. Aflatoxins in aquatic species: metabolism, toxicity and perspectives. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 18(1), 99-130.
- Santos G., Rodrigues I., Starkl V., Naehrer K., Hofstetter U., and Encarnaçao P. 2010. Mycotoxins in aquaculture: Occurrence in feeds components and impact on animal performance. *Avances en Nutrición Acuicola*.
- Schwartz P., Bucheli T.D., Wettstein F.E., and Burkhardt-Holm P. 2013. Life-cycle exposure to the estrogenic mycotoxin zearalenone affects zebrafish (*Danio rerio*) development and reproduction. *Environmental toxicology* 28(5), 276-289.
- Schwartz P., Thorpe K.L., Bucheli T. D., Wettstein F.E., Burkhardt-Holm P. 2010. Short-term exposure to the environmentally relevant estrogenic mycotoxin zearalenone impairs reproduction in fish. *Science of the Total Environment* 409(2): 326-333.
- Scott P. 2012. Recent research on fumonisins: a review. *Food additives and Contaminants: part A* 29(2), 242-248.
- Scudamore K., Nawaz S., Hetmanski M., Rainbird S. 1998. Mycotoxins in ingredients of animal feeding stuffs: III. Determination of mycotoxins in rice bran. *Food Additives & Contaminants* 15(2), 185-194.
- Selim K.M., El-hofy H., Khalil R.H. 2014. The efficacy of three mycotoxin adsorbents to alleviate aflatoxin B 1-induced toxicity in *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture International* 22(2), 523-540.
- Shahafve S., Banaee M., Haghi B.N., Mohiseni M. 2017. Histopathological study of common carp (*Cyprinus carpio*) fed aflatoxin-contaminated diets. *International Journal of Aquatic Biology* 5(2), 63-70.
- Song D., Karr A. 1993. Soybean phytoalexin, glyceollin, prevents accumulation of aflatoxin B 1 in cultures of *Aspergillus flavus*. *Journal of chemical ecology* 19(6), 1183-1194.
- Speijers G.J.A., and Speijers M.H.M. 2004. Combined toxic effects of mycotoxins.

- moniliformin and fumonisin B1 fed singly and in combination in diets for young channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 31(4), 599-608.
- Zhang, G.-L., Feng Y.-L., Song J.-L., Zhou X.-S. 2018. Zearalenone: a mycotoxin with different toxic effect in domestic and laboratory animals' granulosa cells. *Frontiers in Genetics* 9, 667.
- Zhao H., Jiang R., Xue M., Xie S., Wu X., Guo L. 2010. Fishmeal can be completely replaced by soy protein concentrate by increasing feeding frequency in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* GIFT strain) less than 2 g. *Aquaculture Nutrition* 16(6), 648-653.
- Zychowski K.E., Hoffmann A.R., Ly H.J., Pohlenz C., Buentello A., Romoser A., Gatlin D.M., Phillips T.D. 2013. The effect of aflatoxin-B1 on red drum (*Sciaenops ocellatus*) and assessment of dietary supplementation of NovaSil for the prevention of aflatoxicosis. *Toxins* 5(9), 1555-1573.
- fish price index. *PLoS One* 7(5), e36731.
- Vaclavikova M., Malachova A., Veprikova Z., Dzuman Z., Zachariasova M., Hajslova J. 2013. Emerging mycotoxins in cereals processing chains: Changes of enniatins during beer and bread making. *Food Chemistry* 136(2), 750-757.
- Van der Merwe K., Steyn P., Fourie L., Scott D.B., Theron J. 1965. Ochratoxin A, a toxic metabolite produced by *Aspergillus ochraceus* Wilh. *Nature* 205(4976), 1112-1113.
- van Egmond H.P., Jonker M. 2004. Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003, *Food and Agriculture Organization of the United Nation*. 81, 1-7.
- Vaziriyan M., Banaee M., Nemadoost Haghi B., Mohiseni M. 2018. Effects of dietary exposure to aflatoxins on some plasma biochemical indices of common carp (*Cyprinus carpio*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 17(3), 487-502.
- Viegas C., Nurme J., Piecková E., Viegas S. 2020. Sterigmatocystin in foodstuffs and feed: aspects to consider. *Mycology* 11(2), 91-104.
- Voss, K.A., Riley R.T. 2013. Fumonisin toxicity and mechanism of action: overview and current perspectives. *Food Safety* 1(1), 2013006-2013006.
- Wang E., Ross P.F., Wilson T.M., Riley R.T., Merrill Jr A.H. 1992. Increases in serum sphingosine and sphinganine and decreases in complex sphingolipids in ponies given feed containing fumonisins, mycotoxins produced by *Fusarium moniliforme*. *The Journal of Nutrition* 122(8), 1706-1716.
- Wang H., Wei H., Ma J., Luo X. 2000. The fumonisin B1 content in corn from North China, a high-risk area of esophageal cancer. *Journal of environmental pathology, toxicology and oncology: official organ of the International Society for Environmental Toxicology and Cancer* 19(1-2), 139-141.
- Warth B., Parich A., Atehnkeng J., Bandyopadhyay R., Schuhmacher R., Sulyok M., Krska R. 2012. Quantitation of mycotoxins in food and feed from Burkina Faso and Mozambique using a modern LC-MS/MS multitoxin method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(36), 9352-9363.
- Woodward B., Young L., Lun A. 1983. Vomitoxin in diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 35, 93-101.
- Woźny M., Obremski K., Jakimiuk E., Gusiatin M., Brzuzan P. 2013. Zearalenone contamination in rainbow trout farms in north-eastern Poland. *Aquaculture* 416, 209-211.
- Yildirim M., Manning B.B., Lovell R.T., Grizzle J.M. and Rottinghaus G.E. 2000. Toxicity of

**Review Article****Evaluation of the pathology and food poisoning of fish with mycotoxins**

**Mohammad Karimi<sup>1</sup>, Amin Gholamhosseini<sup>\*1</sup>, Mahdi Banaee<sup>2</sup>, Amir Zaidi<sup>3</sup>, Reza Shakeri<sup>4</sup>, Amin Nematollahi<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Division of Aquatic Animal Health, Department of Clinical Sciences, School of Veterinary Medicine, Shiraz University, Shiraz, Iran.

<sup>2</sup>Aquaculture Department, Faculty of Natural Resources and the Environment, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.

<sup>3</sup>Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran.

<sup>4</sup>Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Al-Anbia University of Technology, Behbahan, Iran.

<sup>5</sup>Department of Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Veterinary Medicine, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

\*Corresponding author: [amingholamhosseini@shirazu.ac.ir](mailto:amingholamhosseini@shirazu.ac.ir)

Received: 2021/8/6

Accepted: 2021/10/12

**Abstract**

The growth and development of the aquaculture industry in recent decades has also led to the development of the aquatic feed industry. High-quality animal protein, lipids and other nutrients are essential for intensive aquaculture. Fish meal is used as an essential ingredient in fish nutrition that will not be available in sufficient quantities in the future. Increasing fishing pressure has reduced marine fish stocks; Therefore, reducing the dependence of aquaculture on marine resources in order to develop the sustainability of this industry in the future is essential. Therefore, using plant protein sources such as cereals and legumes in aquatic feed can be effective in achieving this goal. However, plant foods can provide a natural and suitable substrate for the growth of fungi. Crops may be infected with the fungus during harvest or storage. Under adverse environmental conditions, at temperatures above 27 ° C and more than 60% humidity and lack of proper ventilation, fungi grow rapidly and can endanger aquatic health by producing mycotoxins. In addition, the accumulation of mycotoxins in the edible tissue of fish can be dangerous to consumers' health. Therefore, it is necessary to know the different types of mycotoxins and understand how they are transferred from food to farmed aquatic animals and ultimately to human consumers. Aflatoxins, sterigmatocystin, ochratoxin, trichotoxins, zearalenone, and fumonisins are the most important known mycotoxins in aquatic feed. These toxins can cause many pathological damages to aquatic animals, such as reduced growth performance, changes in haematological parameters, histological damages, biochemical parameters, oxidative stress and genetic damages. Therefore, in this article, we introduce these compounds and show their effects on aquatic health.

**Keywords:** Aquaculture, Mycotoxins, Aquatic nutrition, Fungal infection.