



معرفی عوامل ضد تغذیه‌ای موجود در اقلام خوراکی با منشأ گیاهی و راهکارهای کاهش محتوای آن‌ها

احمد ایمانی^{۱*}، زهرا محمودی کیا^۲

۱. دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲. دانشجوی دکتری گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

چکیده

با رشد صنعت آبی‌پروری و عرضه محدود پودر ماهی، استفاده از مواد گیاهی مانند دانه‌های حبوبات (لوبین و نخود)، دانه‌های روغنی (سویا، پنبه، کلزا و آفتابگردان)، غلات (ذرت، برنج و گندم) را ضروری می‌سازد. کنجاله برگ‌های غنی از پروتئین، کنسانتره و ایزوله دانه‌های روغنی غیرخوراکی (جاتروفا، کرچک و چریش) به‌عنوان ترکیبات خوراک ماهی استفاده می‌شوند. با این حال، چالش اصلی در استفاده از ترکیبات گیاهی غنی از پروتئین در تغذیه ماهی، وجود عوامل ضدتغذیه‌ای در این نهادهای خوراکی است. عوامل ضد تغذیه‌ای ترکیباتی هستند که استفاده از مواد مغذی و یا مصرف خوراک را در آبزیان کاهش می‌دهند و نقش مهمی در تعیین میزان استفاده از گیاهان در خوراک‌دهی حیوانات دارند. این عوامل می‌توانند باعث سوء تغذیه ریزمغذی‌ها و کمبود مواد معدنی شوند. مهم‌ترین عوامل ضدتغذیه‌ای شامل مهارکننده‌های پروتئاز، اسید فیتیک، ساپونین، تانن، سیانید، اگزالات، گوسیپول، پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای، فیتواستروژن‌ها، میموزین و مایکوتوکسین‌ها هستند. روش‌ها و فناوری‌های متداول مختلفی وجود دارد که می‌توان از آن‌ها برای کاهش سطوح این عوامل ضد مغذی استفاده کرد. چندین فناوری و روش فرآوری مانند تخمیر، جوانه‌زنی، سبوس‌زدایی، اتوکلاو نمودن، خیساندن و ... برای کاهش محتوای ضد مغذی در غذاها استفاده می‌شود. با این حال، مطالعه و شناخت شیوه‌های مؤثر و بهینه‌سازی شرایط بکارگیری آن‌ها همچنان از اهمیت زیادی برخوردار است. علاوه بر این، هر گونه آبی‌پروری یک آستانه تحمل امن برای هر یک از مواد ضد تغذیه‌ای برخوردار است، که پیش از انتخاب شیوه فرآوری باید مدنظر قرار گیرد. مؤلفه‌های دیگری چون آثار محیط زیستی و ملاحظات اقتصادی شیوه فرآوری مورد نظر نیز مستلزم توجه ویژه است.

واژگان کلیدی: عوامل ضدتغذیه‌ای، فرآوری، نهادهای خوراکی گیاهی، خوراک آبزیان



Introducing antinutritional factors in plant origin fish feed ingredients and strategies to reduce their contents

Ahmad Imani^{1*}, Zahra Mahmoudikiya²

1. Associate professor, Department of, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2. PhD student, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 17-Dec-2022

Accepted: 27-Jun-2023

Abstract

Due to rapid aquaculture development, limited supply of fishmeal and its increasing cost and demand, using plant derived feed ingredients such as legumes (lupin and peas), oil seed cakes (soy bean, cottonseed, and rape seed), cereals (corn, rice and wheat), meals of protein rich leaves, concentrates and isolate of non-edible oil seeds (jatropha, castor and neem) as fish feed ingredients is compulsory. However, the major challenge in utilizing the protein rich plant ingredients is the presence of anti-nutritional factors. Anti-nutritional factors are compounds which reduce the nutrient utilization and/or feed intake of aquatic animals and are important in plant origin feed ingredient contents of feed formulation. These factors can cause malnutrition or reduced micronutrients and minerals uptake. The most important anti-nutritional factors include protease inhibitors, phytic acid, saponin, tannin, cyanide, oxalate, gossypol, non-starch polysaccharides, phytoestrogens, mimosine and mycotoxins. There are various traditional and recent technologies, which can be used to reduce the levels of such anti-nutrient factors. Several processing techniques including fermentation, germination, dehulling, autoclaving, soaking etc. are applicable to reduce the anti-nutrient contents of ingredients. However, investigating and appreciation of effective methods and optimizing the conditions of their application is still very demanding. In addition, each aquatic species has tolerable threshold for each of the anti-nutritional substances, which should be considered before choosing the processing method. Other issues including the environmental concerns of the processing method and its economic viability also deserve special attention.

Keywords: Anti-nutritional factors, Processing, Plant feed ingredients, Aquafeed

۱. مقدمه

تغذیه (Anti-nutritional factors: ANFs) است (Vikram *et al.*, 2020). عوامل ضد تغذیه (ANFs) ممکن است به‌عنوان موادی تعریف شوند که به‌خودی خود از طریق محصولات متابولیکی خود که در سیستم‌های زنده ایجاد می‌شوند، در استفاده از مواد مغذی تداخل داشته و بر سلامت و تولید حیوانات تأثیر گذارند (Nath *et al.*, 2022). اگرچه ترکیبات گیاهی در برخی از اسیدهای آمینه ضروری کمبود دارند، اما می‌توان آن را با استفاده از مکمل‌های شیمیایی اسیدهای آمینه محدودکننده مانند لیزین در جیره غذایی برطرف ساخت. با این حال، محتوای ANF نهاده‌های گیاهی باید مدیریت شود، در غیر این صورت استفاده از این مواد خوراکی در تغذیه آبزیان با محدودیت قابل توجهی روبه‌رو خواهد شد (Gopan *et al.*, 2020).

۲. انواع مواد ضد تغذیه‌ای براساس سازوکار اثرگذاری بر موجود هدف

گروه نخست بر هضم و استفاده از پروتئین تأثیر منفی می‌گذارند، به‌عنوان مثال مهارکننده‌های پروتئاز (مهارکننده تریپسین، مهارکننده کیموتریپسین)، تانن‌ها و لکتین‌ها (هماگلوٹینین) از این دسته مواد هستند (Francis *et al.*, 2001). گروه دوم مواد ضد تغذیه‌ای مانند فیتات‌ها، گوسیپول، اگزالات‌ها و گلوکوزینولات‌ها بر استفاده از موادمعدنی تأثیر نامطلوب می‌گذارد (FAO., 1999). گروه سوم از این مواد مانند آنتی‌ویتامین‌ها (آنتی‌تیامین‌هایی مانند پیریتامین، آنتی‌ریبوفلاوین‌ها مانند گالاتوفلاوین، آنتی‌نیاسین مانند پیریدین ۳ سولفونیک اسید (pyridine-3-sulphonic acid)، آنتی‌استیل پیریدین (3-acetyl pyridine)، آنتی‌پانتوتنیک‌اسید مانند پانتویل تورین (pantoyltaurine)، آنتی B₆ مانند دزوکسی پیریدوکسین (desoxy pyridoxine)، متوکسی پیریدوکسین (methoxypyridoxine) و آنتی‌بیوتین، مانند آویدین آنتی فولیک‌اسید (avidin antifolic acid) مانند آمینوپترین (aminopterin) بر مصرف ویتامین اثر

افزایش روز افزون جمعیت بشر و همچنین آگاهی از منافع سلامتی مصرف آبزیان سبب روی آوردن انسان به منابع غذایی جدید به‌ویژه آبزیان شده است (Lee and Donaldson, 2001). طی ۴۰ سال گذشته، آبرزی پروری رشد قابل توجه و پایداری داشته است و تولید آبزیان کم و بیش هر ۱۰ سال دو برابر شده است، که در نهایت در سال ۲۰۱۸ به ۸۲ میلیون تن رسیده است (FAO, 2020). پودرماهی منبع عمده تأمین‌کننده پروتئین (۴۵ تا ۵۰ درصد) و گران‌ترین جزء جیره غذایی آبزیان است (Yigit *et al.*, 2006). دسترسی محدود و افزایش قیمت پودرماهی منجر به افزایش تمایل به استفاده از پروتئین‌های گیاهی در خوراک میگو و ماهی شده است (Tidwell and Allan, 2002; Naylor *et al.*, 2009). منابع پروتئین گیاهی می‌تواند، به‌صورت جزئی یا کامل، جایگزین پودرماهی جیره غذایی آبزیان شوند، به‌شرطی که نیاز اسیدهای آمینه آبرزی مورد نظر را تأمین نموده و سبب کاهش خوش‌خوراکی جیره غذایی نشود. همچنین، بایستی مقدار مواد ضد مغذی منابع گیاهی کاهش یابد (Francis *et al.*, 2001). از این‌رو حذف عوامل ضدتغذیه‌ای برای افزایش استفاده از سطوح جایگزین‌شده ترکیبات گیاهی در جیره غذایی ماهی ضروری است. روش‌های شیمیایی و فیزیکی مختلفی نظیر پرتودهی، حرارت دادن، خیساندن با آب یا مواد شیمیایی (Falah *et al.*, 2016) پوسته‌کنی و پختن (Sotodeh *et al.*, 2016) برای از بین بردن و یا کاهش محتوای ترکیبات ضد تغذیه‌ای منابع پروتئینی گیاهی پیشنهاد شده است. جدیدترین روش فرآوری جهت تولید محصولات پروتئینی با کیفیت غذایی مناسب و کاهش ترکیبات ضدتغذیه‌ای، استفاده از فرآیند تخمیر به کمک گونه‌های قارچی و باکتریایی است (Falah *et al.*, 2016).

گیاهان تعدادی مکانیسم بقا جهت مقابله با خورده شدن یا هضم دانه‌هایشان توسط حشرات، پرندگان یا سایر حیوانات حاصل کرده‌اند. یکی از مکانیسم‌های دفاعی، تولید ترکیباتی به نام ترکیبات ضد مغذی یا عوامل ضد

همچنین ممکن است براساس منبع آن نیز مانند انواع درون‌زاد یا برون‌زاد طبقه‌بندی شوند. انواع درون‌زاد مانند مهارکننده پروتئاز، تانن، لکتین، فیتات، گوسیپول، اگزالات شامل ANF‌هایی است که در خود ماده خوراکی وجود دارد. انواع برون‌زاد شامل ماده تولید شده توسط عوامل خارجی است؛ مانند انواع مایکوتوکسین‌ها، آفلاتوکسین‌ها، زیرالنون، دئوکسی نیوالنول، فومونیسین‌ها، اکراتوکسین و تریکوتسن که توسط قارچ تولید می‌شوند. آفلاتوکسین تولید شده توسط *آسپرژیلوس فلاووس* رایج‌ترین و خطرناک‌ترین آفلاتوکسین در خوراک ماهی است. برخی مثال‌های رایج ANF‌های مهم موجود در مواد جایگزین مورد استفاده جهت تولید خوراک ماهی در جدول ۱ نشان داده شده است (Gopan *et al.*, 2020).

سوء دارند (Hajra *et al.*, 2013). گروه چهارم مانند مایکوتوکسین‌ها، میموزین، سیانوژن‌ها، نیترا، آکالوئیدها، عوامل حساس‌کننده به نور، فیتواستروژن‌ها و ساپونین‌ها و استرهای فوربول هستند که آثار سوء شناخته شده متعددی بر عملکرد و سلامتی موجود می‌گذارند (Francis *et al.*, 2001).

علاوه بر این، براساس توانایی مقاومت در برابر فرآوری حرارتی، که معمولاً برای از بین بردن آن‌ها استفاده می‌شود، ANF‌ها به عوامل حساس به حرارت نظیر مهارکننده پروتئاز، فیتات‌ها، لکتین‌ها، گواتروژن‌ها و آنتی‌ویتامین‌ها، و عوامل پایدار در برابر حرارت مانند ساپونین، پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای، پروتئین آنتی‌ژنیک، استروژن‌ها، ترکیبات فنولیک و مایکوتوکسین‌ها قابل تقسیم‌بندی هستند. ANF‌ها

جدول ۱- عوامل مهم ضد تغذیه‌ای موجود در منبع مغذی مشتق شده از گیاه (Gopan *et al.*, 2020)

عوامل ضد تغذیه‌ای	ماده خوراکی
مهارکننده‌های پروتئاز، لکتین‌ها، اسیدفیتیک، ساپونین‌ها، فیتواستروژن‌ها، کربوهیدرات‌های پیچیده غیر نشاسته‌ای	کنجاله بادام زمینی
گلوکوزینولات‌ها، تانن‌ها	کنجاله خردل
مهارکننده‌های پروتئاز، ساپونین‌ها، مهارکننده‌های آرژیناز	کنجاله آفتابگردان
سیانوژن‌ها، اسیدفیتیک، فیتواستروژن، آنتی‌تیامین و آنتی‌پیریدوکسین	کنجاله بزرک
سیانید، اسیدفیتیک، تانن، مهارکننده تریپسین	کنجاله دانه لاستیکی
آزادپراکتین، سیانید، اسید فیتیک، اگزالات، تانن	کنجاله دانه چریش
کارانجین، اسیدفیتیک، تانن، مهارکننده تریپسین	کنجاله کارانجا
آکالوئید ریسینین، تانن، فیتات، اگزالات	کنجاله کرچک
مهارکننده‌های پروتئاز، لکتین‌ها، اسیدفیتیک، ساپونین‌ها، فیتواستروژن‌ها، آنتی‌ویتامین‌ها، آلرژن‌ها	کنجاله سویا
اسیدفیتیک، فیتواستروژن، گوسیپول، آنتی‌ویتامین‌ها، اسید سیکلوپروپنوتیک	کنجاله پنبه دانه
اسیدفیتیک، مهارکننده‌های پروتئاز	کنجاله کنجد
مهارکننده‌های پروتئاز، گلوکوزینولات‌ها، اسید فیتیک، تانن‌ها	کنجاله کلزا
مهارکننده‌های پروتئاز، ساپونین‌ها، فیتواستروژن‌ها، آکالوئیدها	کنجاله دانه لوبین
مهارکننده‌های پروتئاز، لکتین‌ها، تانن‌ها، سیانوژن‌ها، اسیدفیتیک، ساپونین‌ها، آنتی‌ویتامین‌ها	کنجاله دانه نخود
مهارکننده‌های پروتئاز، ساپونین‌ها، فیتواستروژن‌ها، آنتی‌ویتامین‌ها	پودر برگ یونجه
استرهای فوربول، مهارکننده‌های تریپسین، لکتین، گلیکوزیدهای سیانوژنیک، گلوکوزینولات‌ها، مهارکننده‌های آمیلاز، ساپونین‌ها، تانن‌ها، فیتات‌ها، پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای	پودر جاتروفا کورکاس
مهارکننده‌های پروتئاز، لکتین‌ها، اسیدفیتیک، پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای	گندم
مهارکننده‌های پروتئاز، لکتین‌ها، پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای	ذرت
مهارکننده‌های پروتئاز، سیانوژن‌ها، تانن، گوسیپول	علف اردک
مهارکننده‌های پروتئاز، اسیدفیتیک، تانن، لاتیروژن	نخود سبز
مهارکننده‌های پروتئاز، اسید فیتیک، تانن، گوسیپول	آزولا
مهارکننده‌های پروتئاز، اسیدفیتیک، سیانوژن، ساپونین‌ها، تانن	ایکورنیا
مهارکننده‌های پروتئاز، اسیدفیتیک، سیانوژن	نخود

همچنین تشکیل کمپلکس‌های پایدار با کیموتریپسین و/یا تریپسین از فعالیت آنزیم‌ها در دستگاه گوارش حیوانات جلوگیری می‌کنند (Gopan *et al.*, 2020).

۲.۳. فیتات‌ها (Phytates)

فیتات‌ها یا اسیدفیتیک یکی از قوی‌ترین عوامل ضدتغذیه‌ای در خوراک گیاهان است. این یک شکل رایج ذخیره‌سازی فسفر در دانه‌های گیاهان است. فیتات (هگزا فسفات‌های میواینوزیتول) می‌تواند با یون‌های معدنی دو و سه ظرفیتی مانند فسفر، کلسیم و منیزیم، عناصر کمیاب مانند آهن و روی، و پروتئین و اسیدهای آمینه کلاته شود (D'Mello *et al.*, 1991). نهاده‌های خوراک ماهی حاصل از گیاهان مانند کنجاله سویا، کنجاله کلزا و کنجاله کنجد به ترتیب حاوی ۱۵-۱۰، ۷۵-۵۰ و ۲۴ گرم بر کیلوگرم فیتات هستند (Francis *et al.*, 2001). گنجلندن مواد حاوی فیتات در جیره بر رشد گونه‌های ماهی که معمولاً پرورش داده می‌شوند تأثیر منفی گذاشته است، زیرا اکثر ماهی‌ها آنزیم‌های درون‌زاد برای تجزیه فیتات و آزادسازی مواد مغذی را ندارند. بنابراین، آن‌ها بدون هضم از روده عبور می‌کنند. در نتیجه، بخش قابل توجهی از مواد مغذی ارزشمند منابع گیاهی برای آبزیان در دسترس نیست و به‌عنوان مدفوع هدر رفته و خود سبب آثار سوء بر محیط زیست (آلودگی با فسفر و ..) می‌شود. فیتات‌ها همچنین کمپلکس‌های فیتات-پروتئین با هضم اندکی را تشکیل می‌دهند که منجر به کاهش قابلیت هضم و در دسترس بودن پروتئین برای رشد عضلانی می‌شود (Makkar *et al.*, 2007). رشد و بهره‌وری استفاده از مواد مغذی توسط گونه‌های مختلف ماهی تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی فیتات گزارش شده است که تحت تأثیر نامطلوب این ترکیب قرار گرفته‌اند (Francis *et al.*, 2001).

۳. عوامل ضد تغذیه‌ای مهم و آثار سوء آن‌ها

در جدول ۲ برخی از اطلاعات مهم راجع به ماهیت شیمیایی و محتوای ANFها، اثر سوء آن‌ها در استفاده از مواد مغذی، سلامت ماهی، سازوکار اثرگذاری و سطح قابل تحمل آن‌ها به‌همراه نحوه مدیریت این ترکیبات در اقلام خوراکی به‌صورت خلاصه ارائه شده است.

۳.۱. مهارکننده‌های پروتئاز

(Protease Inhibitors)

عواملی که بر ارزش غذایی پروتئین‌ها (قابلیت هضم) تأثیر منفی می‌گذارند، به‌عنوان مهارکننده‌های پروتئاز شناخته می‌شوند. آن‌ها در مواد خوراکی گیاهی، به‌ویژه حبوبات، مانند سویا یافت می‌شوند. ممکن است بسیاری از مهارکننده‌های پروتئاز در یک گیاه وجود داشته باشد، این ترکیبات از نظر ساختار، وزن مولکولی و نحوه عملکرد متفاوت هستند. به‌عنوان مثال، سویا دارای انواع مهارکننده‌های پروتئازی است. این مهارکننده‌ها عمدتاً با اتصال به آنزیم‌های گوارشی مانند کیموتریپسین یا تریپسین عمل می‌کنند. خوشبختانه، همه مهارکننده‌های پروتئاز نسبت به حرارت حساس هستند و به‌راحتی با برشته کردن یا پختن از بین می‌روند (Hajra *et al.*, 2013). از نظر بیوشیمیایی، آن‌ها در دو دسته قرار می‌گیرند: ۱) بازدارنده‌های کونیتز (Kunitz inhibitors) با وزن مولکولی ۲۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ دالتن (Da) با پیوندهای دی‌سولفیدی که کمی تریپسین را مهار می‌کنند و ب) بازدارنده‌های بومن-بیرک (Bowman-Birk) با وزن مولکولی ۶۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ دالتن، غنی از سیستمین بوده و بازدارنده کیموتریپسین و همچنین تریپسین‌اند (Makkar *et al.*, 2007). محصولات تجاری سویا عمدتاً مهارکننده‌های تریپسین (TI) را در محدوده ۲ تا ۶ میلی‌گرم/گرم نشان می‌دهند که میلنگین آن ۴ میلی‌گرم/گرم است. مهارکننده‌های پروتئاز با اتصال و

جدول ۲- عوامل مهم ضد تغذیه جیره و اثرات مضر آن‌ها، سطح قابل تحمل جیره غذایی (Gopan et al., 2020)

عوامل ضد تغذیه	اثرات مضر	سطح قابل تحمل جیره غذایی	روش‌های بهبود
مهارکننده‌های پروتئاز	(۱) هیپرتروفی/هیپرپلازی پانکراس (۲) کاهش هضم پروتئین و استفاده از اسیدهای آمینه (۳) کاهش رشد	(۱) ماهی آزاد: $5 \text{ mg/g} >$ (۲) تیلاپیا نیل: $1/6 \text{ mg/g} >$ (۳) کپور: $8/3 \text{ mg TI/g} <$ (۴) گربه ماهی کانالی: $2/2 \text{ mg/g}$	(۱) عملیات حرارتی مرطوب (اتوکلاو کردن) به مدت ۱۵ تا ۳۰ دقیقه (۲) اکستروژن یا بخاریز (۳) تخمیر (۴) جوانه زنی (۵) مکمل اسیدهای آمینه ضروری به ویژه اسیدهای آمینه گوگرددار برای جبران اسیدهای آمینه در دسترس.
	(۱) کاهش مصرف پروتئین، کربوهیدرات و مواد معدنی جهت رشد (۲) کاهش محتوای خاکستر عضلانی (۳) بدشکلی اسکلتی (۴) کاهش عملکرد تیروئید و افزایش احتمال تشکیل آب مروارید (۵) ساختار غیرطبیعی سکوم پیلور که منجر به کاهش جذب موادمغذی می‌شود. (۶) افزایش مرگ و میر	(۱) کپور، تیلاپیا، قزل‌آلا و میگو: > 5 گرم در کیلوگرم یا $> 0/5$ درصد	(۱) مکمل غذایی فیتاز (۲) تخمیر مواد غذایی با مخمر یا باکتری‌های اسید لاکتیک (۳) آسیاب لایه بیرونی (۴) تکمیل پیش مخلوط معدنی (۵) تابش مایکروویو و تابش پرتو الکترونیکی (۶) مکمل اضافی حاوی عنصر روی برای جلوگیری از تشکیل آب مروارید (۷) استخراج آبی (۱۸ ساعت) (۸) گرمایش مرطوب (۱۲۰ درجه سانتی‌گراد برای ۲ ساعت)
اسیدفیتیک	(۱) پروگوترین و اپی‌پروگوترین باعث کاهش خوشخوراکی و مصرف خوراک می‌شود. (۲) تیوسیانات‌ها، آلیل ایزوتیوسیانات و گوترین سبب اختلال در دسترسی به ید شده و قوی‌ترین عوامل ضد تیروئید هستند. (۳) فعالیت ضد تیروئیدی منجر به تولید کمتر T_3 و T_4 می‌شود که متابولیسم را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نتیجه رشد را کاهش می‌دهد. (۴) همچنین، نیتریل‌ها با آسیب شدید بر کبد و کلیه بر عملکرد این اندام‌ها تأثیر می‌گذارند.	(۱) کپور معمولی (<i>cyprinus carpio</i>) و سایر ماهیان: $> 0/4 \text{ mg/g}$ جیره غذایی یا $3/6$ میکرومول بر گرم جیره (۲) گونه‌های ماهی‌های گوشت‌خوار عموماً نسبت به گونه‌های ماهی همه‌چیزخوار/گیاه‌خوار به سمیت گلوکوزینولات حساس‌تر هستند.	(۱) استخراج آبی یک روش مقرون به صرفه است، اما شستشوی موادمغذی ضروری یک مشکل جدی برای این شیوه فرآوری است. (۲) عملیات حرارتی (پخت اکستروژن و پخت و پز تحت فشار مرطوب) (۳) به آسانی با استخراج با مخلوط‌های رقیق قلیایی یا حلال آلی حذف می‌شوند. (۴) تیمار با محلول سولفات مس (۵) تابش مایکروویو و تابش پرتو الکترونیکی (۶) مکمل ید در جیره غذایی و نشخوارکنندگان (۷) برنامه‌های اصلاحی انتخابی برای تولید ارقام کم گلوکوزینولات کلزا/خردل
	(۱) کاهش خوشخوراکی و مصرف خوراک (۲) کاهش بازدهی خوراک و رشد (۳) کاهش عملکرد تولید مثلی (۴) دیسترس تنفسی (۵) مرگ	(۱) کپور و سایر ماهی‌ها: کمتر از ۱ گرم به ازای هر کیلوگرم جیره (۲) ماهیان زینتی: هنوز اطلاعی در دست نیست.	(۱) استخراج آبی اما باید مراقب شستشوی مواد مغذی بود (۲) استخراج با اتانول (۳) مکمل کلسترول
گلوکوزینولات‌ها	(۱) به دلیل طعم تلخ نامطلوب سبب کاهش خوشخوراکی و مصرف خوراک می‌شود. (۲) کاهش بازدهی خوراک و رشد (۳) آسیب به کبد و کلیه منجر به مرگ می‌شود.	(۱) نشخوارکنندگان: تا 15000 mg/kg خوراک (۱/۵٪) (۲) مرغ‌های تخم‌گذار: تا 10000 میلی‌گرم بر کیلوگرم خوراک (۱٪) (۳) خرگوش: تا 10000 mg/kg خوراک (۱٪) (۴) خوک: تا 1500 mg/kg خوراک (۰/۱۵٪) (۵) تا 15 mg/kg خوراک برای همه گونه‌های جانوری بی‌خطر است.	(۱) جداسازی بذرها برای حذف لایه بیرونی غنی از تانن (۲) تیمار با ترکیبات قلیایی (۳) تیمار با سولفات آهن (عامل اکسیدکننده) (۴) تیمار با عوامل کمپلکس‌کننده تانن مانند پلی‌اتیلن گلیکول (۵) خیساندن و خشک کردن و عملیات حرارتی (اتوکلاو نمودن) (۶) تخمیر با باکتری‌های اسید لاکتیک (۷) تشعشعات مایکروویو و تابش پرتو الکترونیکی
	(۱) کاهش خوشخوراکی و مصرف خوراک (۲) کاهش بازدهی خوراک و رشد (۳) آسیب به کبد و کلیه منجر به مرگ می‌شود.	(۱) کپور و سایر ماهی‌ها: کمتر از ۱ گرم به ازای هر کیلوگرم جیره (۲) ماهیان زینتی: هنوز اطلاعی در دست نیست.	(۱) استخراج آبی اما باید مراقب شستشوی مواد مغذی بود (۲) استخراج با اتانول (۳) مکمل کلسترول
ساپونین‌ها	(۱) کاهش خوشخوراکی و مصرف خوراک (۲) کاهش بازدهی خوراک و رشد (۳) آسیب به کبد و کلیه منجر به مرگ می‌شود.	(۱) کپور و سایر ماهی‌ها: کمتر از ۱ گرم به ازای هر کیلوگرم جیره (۲) ماهیان زینتی: هنوز اطلاعی در دست نیست.	(۱) استخراج آبی اما باید مراقب شستشوی مواد مغذی بود (۲) استخراج با اتانول (۳) مکمل کلسترول
تانن‌ها	(۱) کاهش خوشخوراکی و مصرف خوراک (۲) کاهش بازدهی خوراک و رشد (۳) آسیب به کبد و کلیه منجر به مرگ می‌شود.	(۱) کپور و سایر ماهی‌ها: کمتر از ۱ گرم به ازای هر کیلوگرم جیره (۲) ماهیان زینتی: هنوز اطلاعی در دست نیست.	(۱) استخراج آبی اما باید مراقب شستشوی مواد مغذی بود (۲) استخراج با اتانول (۳) مکمل کلسترول

ادامه جدول ۲

عوامل ضدتغذیه	اثرات مضر	سطح قابل تحمل جیره‌غذایی	روش‌های بهبود
سیانوژن‌ها	(۱) کاهش بازده خوراک و رشد (۲) مرگ و میر در مقادیر بیش از حد	(۱) دام: تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک خوراک (۰/۰۱٪) دوز کشنده HcN برای گاو و گوسفند ۲-۴ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن است. (۲) انسان: دوز کشنده HcN خوراکی در انسان بین ۰/۵ تا ۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن تخمین زده شده است.	(۱) خیساندن در آب (۲۴ ساعت) و سپس خشک کردن در آفتاب (۲) جوشاندن و سپس خشک کردن در آفتاب (۳) بو دادن (۴) تخمیر میکروبی (۵) آسیاب و به دنبال آن خشک کردن در آفتاب (۶) تشعشعات مایکروویو و تابش پرتو الکترونیکی
گوسپول	(۱) یبوست (۲) کاهش اشتها (۳) کاهش وزن (۴) اثرات سمی و سیستمیک گوسپول از طریق کاهش هماتوکریت، هموگلوبین، ظرفیت تولیدمثل و همچنین ایجاد ضایعات بافتی کبد، کلیه، طحال و گنادها (۵) مرگ (۱) آگلوتیناسیون گلبول‌های قرمز (۲) کاهش جذب موامغذی از روده یا مجرای گوارشی (۳) خون‌ریزی‌های داخلی (۴) کاهش رشد	(۱) ماهی: کمتر از ۲۰ mg/kg خوراک توصیه می‌شود. همه حیوانات و همچنین اما برخی از ماهی‌ها، می‌توانند سطح بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خوراک را تحمل کنند.	(۱) عملیات حرارتی: برشته کردن، اکستروژن (۲) تابش: تابش پرتو گاما یا تابش پرتو الکترونیکی (۳) تخمیر قارچی (۴) استفاده از مکمل‌های غذایی: الف) کمبود اسیدهای آمینه مانند سیستئین، لیزین و متیونین (ب) سولفات آهن (ج) سلنیت سدیم (د) ویتامین E
هماگلوتینین‌ها یا لکتین‌ها	(۱) تشکیل سنگ‌های اگزالات کلسیم منیزیم در کلیه و نارسایی همزمان کلیه (۲) کاهش رشد و ایمنی	برای نشخوارکنندگان کمتر از ۲٪ اگزالات و برای غیرنشخوارکنندگان کمتر از ۰/۵٪ برای جلوگیری از مسمومیت با اگزالات	تیمار حرارت: عملیات حرارتی مرطوب (اتوکلاو نمودن) مؤثرتر از عملیات حرارتی خشک است.
اگزالات یا اسید اگزالیک	(۱) تشکیل سنگ‌های اگزالات کلسیم منیزیم در کلیه و نارسایی همزمان کلیه (۲) کاهش رشد و ایمنی	برای نشخوارکنندگان کمتر از ۲٪ اگزالات و برای غیرنشخوارکنندگان کمتر از ۰/۵٪ برای جلوگیری از مسمومیت با اگزالات	تیمار حرارتی

۳.۳. ساپونین‌ها (Saponins)

ساپونین‌ها ترکیبات ثانویه‌ای هستند که عموماً به‌عنوان ترکیبات غیرفرار و فعال سطحی شناخته می‌شوند که به‌طور گسترده در طبیعت پراکنده هستند. این ترکیبات بیشتر در قلمرو گیاهی وجود دارند. آن‌ها از نظر ساختاری مولکول‌های متنوعی هستند و از نظر شیمیایی به‌عنوان گلیکوزیدهای تری‌ترپنوئیدی یا استروئیدی شناخته می‌شوند. ساپونین‌ها از آگلیکون‌های غیرقطبی همراه با یک یا چند بخش مونوساکاریدی تشکیل شده‌اند. این ترکیب عناصر ساختاری قطبی و غیرقطبی موجود در مولکول‌های انواع ساپونین‌ها رفتار صابونی مانند آن‌ها را در محلول‌های آبی نمایان می‌سازد. پیچیدگی ساختاری

ساپونین‌ها منجر به تعدادی خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌شود که شامل شیرینی و تلخی، خواص کف‌کنندگی و امولسیون‌کنندگی، خواص دارویی، خواص همولیتیک و همچنین فعالیت‌های ضد میکروبی و مرگ حشره و نرم‌تنان می‌شود (Nath et al., 2022). ساپونین‌ها وقتی به آب اضافه شوند یا روی سطح آب پخش شوند برای ماهی بسیار سمی هستند. ویژگی شویندگی (دترجنتی) ساپونین‌ها باعث آسیب به اپیتلیوم تنفسی آبشش‌ها می‌شود. ساپونین‌ها اجزای اصلی در سم ماهی هستند که به‌طور سنتی استفاده می‌شود؛ به‌عنوان مثال ساپونین فعال حاصل از کنجاله دانه روغنی mahua است که به‌عنوان سم ماهی برای کشتن ماهی‌های ناخواسته در

حاصل نمود که می‌توانند وارد جریان خون شوند (Francis *et al.*, 2001). تغذیه از جیره‌های حاوی سطوح بالایی از تانن‌های قلیل هیدرولیز باعث ایجاد سمیت در اندام‌های حیاتی شده و منجر به مرگ حیوان می‌شود (Francis *et al.*, 2001). با این حال، تانن‌های متراکم در برابر تجزیه بسیار مقاوم هستند. مصرف ترکیبات گیاهی حاوی تانن‌های متراکم می‌تواند باعث کاهش مصرف مواد مغذی و رشد آبی شود (Makkar *et al.*, 2007).

۳.۵. اگزالات‌ها (Oxalates)

نمک حاصل از اسید اگزالیک به‌عنوان اگزالات شناخته می‌شود؛ به‌عنوان مثال، اگزالات کلسیم، که به‌طور گسترده در گیاهان یافت می‌شود. پیوندهای قوی بین اسید اگزالیک و مواد معدنی مختلف دیگر مانند کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم ایجاد می‌شود. این ترکیب شیمیایی منجر به تشکیل نمک اگزالات می‌شود. اگزالات کلسیم نامحلول تمایل به رسوب (یا جامد شدن) در کلیه‌ها یا مجاری ادراری دارد، بنابراین وقتی سطح آن به اندازه کافی بالا باشد، کریستال‌های اگزالات کلسیم با لبه تیز تشکیل می‌دهد. این کریستال‌ها در تشکیل سنگ کلیه در مجاری ادراری نقش دارند. آن‌ها همچنین باعث ضعف عضلانی و فلجی می‌شوند. اگزالات‌ها همچنین باعث تحریک دستگاه گوارش، انسداد لوله‌های کلیوی توسط کریستال‌های اگزالات کلسیم و هیپوکلسمی می‌شوند (Vikram *et al.*, 2020). اگزالات بر استفاده از مواد معدنی تأثیر می‌گذارد و ممکن است به مقدار قابل توجهی در مواد غذایی ماهی وجود داشته باشد (Francis *et al.*, 2001). در پستانداران، قرار گرفتن طولانی مدت در معرض رژیم غذایی با اگزالات بالا ممکن است منجر به تشکیل سنگ‌های اگزالات کلسیم-منیزیم در کلیه شود که می‌تواند باعث مشکلات جریان ادرار یا نارسایی کلیوی شود، مصرف اگزالات برای نشخوارکنندگان باید کمتر از ۲ درصد خوراک باشد، تا از مسمومیت با اگزالات جلوگیری شود. همچنین، این میزان برای غیرنشخوارکنندگان کمتر از ۰/۵ درصد خوراک توصیه شده است (Rahman *et al.*, 2013).

استخرهای پرورش آبزیان استفاده می‌شود (Gopan *et al.*, 2020). به‌نظر می‌رسد ساپونین‌های موجود در کنجاله دانه لوپین (۱/۱ درصد) و یونجه (حدود ۰/۳ - ۱/۵ درصد) عاملی برای رشد کمتر ماهیانی باشند که با سطوح بالایی از این مواد تغذیه می‌شوند. با این حال، گاهی اوقات بین ساپونین و سایر مواد ضد مغذی، ترکیب پیچیده‌ای تشکیل می‌شود که منجر به غیرفعال شدن اثرات سمی هر دو ماده می‌شود. به‌عنوان مثال، مصرف همزمان تانن و ساپونین ممکن است منجر به از دست دادن سمیت فردی آن‌ها شود (Freeland *et al.*, 1985). ساپونین‌ها گاهی اوقات قابلیت هضم غذاهای غنی از کربوهیدرات را به‌دلیل فعالیت شویندگی خود افزایش می‌دهند. فعالیت شویندگی ویسکوزیته مواد موجود در لوله گوارشی را کاهش می‌دهد و مانع از عملکرد طبیعی و انسداد این مواد غذایی در برابر حرکت گوارشی در روده می‌شود. از آنجا که ساپونین‌ها بسیار محلول هستند، نگهداری آن‌ها برای مدتی در محیط آبی باعث حذف بیشتر ساپونین‌ها می‌شود. در ماهی‌هایی که معمولاً پرورش داده می‌شوند، بعید است که عملکرد رشد در سطوح ساپونین کمتر از ۱ گرم در کیلوگرم جیره تحت تأثیر قرار گیرد (Hajra *et al.*, 2013).

۳.۴. تانن‌ها (Tannins)

تانن‌ها ترکیبات ثانویه‌ای از ساختارهای شیمیایی مختلف هستند که به‌طور گسترده در سلسله گیاهی یافت می‌شوند و به تانن‌های قابل هیدرولیز و متراکم تقسیم می‌شوند. آن‌ها یا با اتصال به آنزیم‌ها یا با اتصال به اجزای خوراکی مانند پروتئین‌ها یا مواد معدنی در فرآیندهای گوارشی تداخل ایجاد می‌کنند و همچنین جذب ویتامین B₁₂ را کاهش می‌دهند. ترکیبات گیاهی آزمایش شده به‌عنوان منابع غذایی جایگزین در خوراک ماهی مانند کنجاله کلزا، کنجاله دانه نخود، روغن خردل، حاوی تانن هستند. تانن قابل هیدرولیز را می‌توان توسط اسید، قلیا و برخی آنزیم‌های هیدرولیتیک موجود در سیستم‌های زیستی تجزیه کرد و در نتیجه ترکیبات کوچک‌تری را

۳.۶. سیانیدها (Cyanides)

کنجاله پنبه‌دانه بدون غده، گوسیپول بسیار کمی دارد (>۱۰/۰ درصد)، اما گونه‌های غده‌دار حاوی حدود ۱/۳ درصد گوسیپول هستند که به‌نظر می‌رسد برای ماهی سمی باشد. گوسیپول همچنین کمپلکس گوسیپول- پروتئین را تشکیل می‌دهد و ممکن است کمبود برخی از اسیدهای آمینه مانند "متیونین" را ایجاد کند که در متابولیسم چربی نقش دارد. گوسیپول فراهمی زیستی یک اسید آمینه محدودکننده دیگر، "لیزین" را نیز کاهش می‌دهد. گونه‌های ماهی نیز از نظر حساسیت به گوسیپول متفاوت هستند (Smith, 1970). کاهش فعالیت آنزیم سوکسینات دهیدروژناز و فعالیت سیتوکروم در صورت مواجهه ماهی با گوسیپول گزارش شده است. گوسیپول با آهن واکنش می‌دهد و یک کمپلکس گوسیپولات آهنی غیرفعال تشکیل می‌دهد. در نتیجه، از مکمل‌های آهن می‌توان با موفقیت برای خنثی کردن یا مقابله با آثار نامطلوب گوسیپول در خوراک مورد استفاده جهت تغذیه گونه‌های ماهی حساس به گوسیپول استفاده کرد. تغذیه ماهی با خوراک حاوی مقادیر قابل توجهی گوسیپول مانند کنجاله پنبه‌دانه باعث کاهش رشد، ناهنجاری‌های روده، سایر اندام‌های داخلی و بی‌اشتهایی می‌شود (Hajra *et al.*, 2013).

۳.۸. پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای

(Non-starch polysaccharides)

پلی‌ساکاریدها و الیگوساکاریدهای غیر نشاسته‌ای در طیف گسترده‌ای از گیاهان مانند دانه‌ها، حبوبات و غلات وجود دارند. الیگوساکاریدهای مهم موجود در کنجاله سویا ساکارز، رافینوز و استاکیوز هستند. پکتین و سلولز نیز پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای هستند که منجر به کاهش قابلیت مصرف مواد مغذی می‌شود (Choct *et al.*, 2010). سطح بالای NSP در خوراک‌ها نشان داده شده است که با اتصال به مواد معدنی در روده، قابلیت هضم چربی را کاهش می‌دهد (Storebakken *et al.*, 1998). آفتابگردان، لوبین و سویا حاوی پکتین، گالاکتان، سلولز و لیگنین هستند. جیره‌های حاوی مواد فوق باعث کاهش مصرف

سیانید هیدروژن که اسید پروسیک نیز نامیده می‌شود، یک ترکیب آلی با فرمول شیمیایی HCN است، که یک مایع بی‌رنگ و بسیار سمی است که کمی بالاتر از دمای اتاق، در ۲۵/۶ درجه سانتی‌گراد می‌جوشد. سیانیدها یکی از رایج‌ترین عوامل ضدتغذیه‌ای در قلمرو گیاهی هستند که به شکل گلیکوزیدهای سیانوژنیک (سیانوژن) وجود دارند (Makkar *et al.*, 2007). سیانوژن‌ها در غلظت‌های بالا در چندین گونه از حبوبات، گیاهان غده‌ای مانند کاساوا و برخی از دانه‌های روغنی مانند دانه کتان که به‌عنوان مواد تشکیل‌دهنده خوراک ماهی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، یافت می‌شوند (Francis *et al.*, 2001). سیانوژن‌ها گلیکوزیدهای قند و سیانید حاوی آگلیکون هستند که به‌طور کلی طعم تلخی دارند. گلیکوزیدهای سیانوژنیک دست‌نخورده سمی نیستند، اما هنگامی که توسط آنزیم درون سلولی مانند بتا گلوکوزیداز هیدرولیز می‌شوند، محصولات سمی مانند سیانید هیدروژن و برخی ترکیبات کربونیلی تولید می‌کنند. این ترکیبات تنفس طبیعی را سرکوب کرده و باعث ایست قلبی می‌شوند، سیانید می‌تواند متابولیسم گلوکز را نیز تغییر دهد (Davis, 1991). Sadati و همکاران (۲۰۱۳) گزارش دادند که قرار گرفتن در معرض سیانید با دوز ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش قابل توجه غلظت گلوکز در ماهی کپور معمولی شد. همچنین، سیانید می‌تواند باعث کاهش نسبت ATP/ADP و چیرگی مسیر متابولیسم بی‌هوازی بر هوازی و در نتیجه افزایش سطح لاکتات شود (Way, 1984). Sadati و همکاران (۲۰۱۳) افزایش فعالیت آنزیم LDH در سرم را به‌عنوان یک ویژگی مشخص اسیدوز لاکتیک و نشانه‌ای از گلیکولیز بی‌هوازی در ماهی کپور معمولی مواجه شده با دوز کشنده سیانید (۱/۲-۰/۱ میلی‌گرم در لیتر) بیان داشتند.

۳.۷. گوسیپول (Gossypol)

گوسیپول‌ها رنگدانه‌های پلی‌فنلی هستند که در غدد رنگدانه‌ای جنس گوسیپیوم (گیاه پنبه) دیده می‌شوند.

۳.۹. فیتواستروژن‌ها (Phytoestrogens)

مواد استروژنی غیراستروئیدی که در گیاهان وجود دارند و به‌عنوان فیتواستروژن شناخته می‌شوند که بیشتر در دانه‌های سویا، پنبه‌دانه، دانه کتان و آفتابگردان وجود دارند. هنگامی که به‌صورت داخل صفاقی به شکل خالص به حیوان تزریق می‌شوند، دارای خواص استروژنی هستند و یا از طریق اتصال به گیرنده‌های استروژن یا تبدیل به ترکیباتی که اثرات استروژنی دارند، عمل می‌کنند. استروژن اثرات گسترده‌ای بر بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی در ماهی‌ها مانند لق‌آزاده‌سازی (vitellogenesis) یا افزایش سطح ویتلوژنین پلازما دارد. بسیاری از ترکیبات گیاهی که در فرمولاسیون و تولید خوراک مورد استفاده قرار می‌گیرند، مانند کنجاله سویا، کنجاله برگ یونجه (alfalfa leaf meal) و سایر کنجاله‌های دانه‌های روغنی، که حاوی برخی از آنتی‌ویتامین‌ها است بر کارایی آن‌ها به‌عنوان منابع مغذی تأثیر می‌گذارد (Liener, 1980). اما از آنجا که آنتی‌ویتامین‌ها حساس به حرارت (heat-labile) هستند، به‌نظر نمی‌رسد که اهمیت فیزیولوژیکی زیادی در ماهی داشته باشند؛ زیرا بیشتر مواد غذایی قبل از استفاده به‌طور مناسب تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرند (Hajra et al., 2013).

۳.۱۰. میموزین (Mimosine)

میموزین از گیاه لوکائنا *Lucaena leucocephala* با نام محلی "ipil ipil"، با نام علوفه تغذیه دام، گزارش شد. این گیاه حاوی یک اسیدآمینة غیرمعمول به نام میموزین است که بر تولید تیروکسین و در نتیجه رشد موجود تأثیر منفی می‌گذارد. اگرچه از نظر ساختاری شبیه اسید آمینة تیروزین است، اما به‌عنوان یک آنتاگونیست برای این اسید آمینة عمل می‌کند. خواص مضر میموزین شامل اختلال در فرآیندهای تولیدمثل و اثرات تراژونیک است. با این‌حال، محتوای میموزین محصول علوفه را می‌توان با خیساندن در آب برای مدتی، به میزان قابل توجهی کاهش داد، این ویژگی آن را برای استفاده در خوراک

خوراک و کاهش قابلیت هضم خوراک در ماهی hybrid striped bass (*Morone saxatilis* and *M. chrysops*) قزل‌آلای رنگین‌کمان شده است (Sanz et al., 1994). پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای منجر به افزایش گرانروی محتویات گوارشی، کاهش سرعت عبور غذا، کاهش نرخ جذب مواد مغذی، کاهش واکنش بین آنزیم-سوبسترا، کاهش خوراک مصرفی و در نهایت کاهش عملکرد رشد موجود می‌شود. یکی از روش‌های عمل‌آوری گندم جهت کاهش اثرات ضدتغذیه‌ای پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای موجود در آن، استفاده از آنزیم است. تأثیرات استفاده از آنزیم به عواملی نظیر ترکیب جیره، نوع آنزیم مورد استفاده و سوبسترای اختصاصی آن، فعالیت آنزیمی، سطح آنزیم مصرفی، پایداری آنزیم، روش بکارگیری آنزیم، زمان واکنش، مقدار رطوبت و pH خوراک بستگی دارد (Van Immerseel et al., 2004). آنزیم‌های تجزیه‌کننده پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای عمل خود را در دو مرحله انجام می‌دهند که عبارتند از: مراحل ایلئومی و سکومی. در طی مرحله ایلئومی عمل آنزیم، آنزیم‌ها سوبستراهای تخمیرپذیر را حذف می‌کنند. این عمل به‌وسیله آزادسازی مواد مغذی داخل سلولی دانه‌ها انجام می‌شود. از طرفی با کاهش گرانروی نرخ هضم و جذب مواد مغذی را افزایش داده، اختلاط آنزیم‌های گوارشی را افزایش می‌دهند و با افزایش سرعت عبور غذا باعث افزایش مصرف خوراک می‌شوند. از طرفی به خاطر پر و خالی شدن سریع دستگاه گوارش از جایگزین شدن کلونی‌های میکروبی ممانعت نموده و قابلیت دسترسی مواد غذایی را برای آن‌ها کاهش می‌دهند و بدین‌وسیله از رشد و افزایش میکروبی و بروز آثار مضر آن‌ها جلوگیری می‌نمایند. در خلال مرحله سکومی، محصولات حاصل از تجزیه پلی‌ساکاریدها یعنی قندهای زایلوز و الیگومرهای آن به‌وسیله باکتری‌های سکومی تخمیر شده و مقادیری اسیدهای چرب فرار تولید می‌گردد که باعث تحریک رشد باکتری‌های سودمند و ممانعت از رشد برخی از باکتری‌های مضر می‌شوند. این امر می‌تواند تا حدودی نیاز به آنتی‌بیوتیک‌ها را در جیره منتفی سازد (Yasar, 2003).

ماهی مناسب می‌سازد (Hajra et al., 2013).

۳.۱۱. آزادیراکتین (Azadirachtin)

آزادیراکتین یک تری‌ترپنوئید است که جزء فعال اصلی دانه چریش است. آزادیراکتین در دانه تجمع می‌یابد و در حدود ۴-۶ گرم آزادیراکتین در ۱ کیلوگرم دانه گزارش شده است. در گیاه چریش، آزادیراکتین به‌عنوان عامل اصلی کنترل حشرات محسوب می‌شود. در حلال‌های آلی قطبی محلول و از حلالیت کمی در آب برخوردار است (Gopan et al., 2019a). اثرات ضد تغذیه‌ای و سمی آزادیراکتین در حشرات شناخته شده است و در حشرات به‌عنوان بازدارنده تغذیه عمل می‌کند و از مصرف دانه توسط حشره جلوگیری به‌عمل می‌آورد، اما حشره را نمی‌کشد. حشره اغلب در نزدیکی گیاه تیمار شده باقی می‌ماند و احتمالاً در اثر گرسنگی می‌میرد (Morgan, 2009). وجود آزادیراکتین مانع استفاده از دانه چریش در خوراک دام و آبزیان شده و آن را غیرخوراکی می‌کند. بنابراین حذف این ترکیب فعال برای استفاده از دانه ضروری است. در ترکیبات آلی بسیار محلول است. بنابراین استخراج با حلال‌ها روشی مؤثر برای حذف آن است. جداسازی پروتئین از دانه نیز برای حذف ANF‌ها در دانه چریش توصیه می‌شود (Gopan et al., 2019a).

۳.۱۲. سموم قارچی (Mycotoxins)

سموم قارچی متابولیت‌های ثانویه قارچ‌ها هستند که توانایی مختل کردن سلامت و در نتیجه کاهش بازدهی رشد و تولیدمثلی حیوانات را دارند (D'Mello and Macdonald, 1998). آلودگی علوفه و غلات به میکوتوکسین اغلب در مزرعه به‌دنبال آلودگی گیاهان با قارچ‌های بیماری‌زای خاص یا با لندوفیت‌های همزیست رخ می‌دهد. هر زمان که شرایط محیطی برای رشد قارچ‌های فاسدکننده مناسب باشد، برای مثال در طول دوره فرآوری و همچنین نگهداری محصول برداشت شده یا خوراک تولید شده، سبب ایجاد آلودگی شوند. میزان رطوبت و دمای محیط عوامل کلیدی کلونیزاسیون قارچ و

تولید میکوتوکسین هستند. *Neotyphodium Fusarium*، *Claviceps* و *Alternaria* نمایندگان شناخته‌شده قارچ‌های مزرعه‌ای هستند در حالی که آسپرژیلوس (*Aspergillus*) و پنی‌سیلیوم (*Penicillium*) نمونه‌هایی از میکروارگانیسم‌های آلوده‌کننده انباری هستند. همچنین، *A. ochraceus* و *A. parasiticus* *Aspergillus flavus* به‌راحتی در شرایط گرم و مرطوب تکثیر می‌شوند، در حالی که *Penicillium expansum* و *P. verrucosum* اساساً قارچ‌های مربوط به مناطق با آب و هوای معتدل هستند. به‌طور کلی، میکوتوکسین‌های حاصل از قارچ آسپرژیلوس در محصولات گیاهی و همچنین خوراک دام، طیور و آبزیان حاصل از نهاده‌های گیاهی، به‌ویژه غلات، غالب هستند (D'Mello and Macdonald, 1998). یکی از شیوه‌های کاهش اثرات سوء میکوتوکسین‌ها در جیره غذایی افزودن ترکیبات غیرفعال کننده این سموم به جیره است. این شیوه از نظر عملی ساده است. شیوه عملکرد این ترکیبات جذب سموم بر سطح مواد غیرمغذی است. این جذب‌ها باید به‌صورت اختصاصی محکم به سموم متصل شده و آن‌ها را غیرفعال نمایند. این عمل سبب کاهش یا توقف جذب روده‌ای سموم در بدن می‌شوند. یک جذب ایده‌آل میکوتوکسین باید قادر به جذب چندین میکوتوکسین باشد چرا که خوراک‌ها غالباً با بیش از یک میکوتوکسین آلوده می‌شوند. در عین حال، این جذب‌ها نباید به ویتامین‌ها و موادمعدنی یا سایر مغذی‌ها متصل شده و آن‌ها را غیرقابل جذب نماید. Imani و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر بنتونیت و دیواره سلولی مخمر همراه با روغن دارچین بر آفلاتوکسیوزیس در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که وجود آفلاتوکسین B₁ در خوراک سبب افزایش پاتولوژیک فعالیت آنزیم‌های گوارشی در ماهی شد، اما افزودن جذب میکوتوکسین، موجب اصلاح فعالیت لیپاز ماهیان تغذیه شده با خوراک حاوی آفلاتوکسین گردید. افزودن گیاهان رایج در طب سنتی نیز می‌تواند یکی از راهکارهای عملی جهت جلوگیری از تولید سموم/تأثیر سوء آن‌ها بر آبزیان باشد. در مطالعه‌ی

ظاهری حبوبات می‌شود. در طول این فرآیندها، تجزیه وسیع ترکیبات ذخیره شده دلنه و تولید پروتئین‌های ساختاری رخ می‌دهد. ویتامین‌ها و ترکیبات ثانویه به‌طور چشمگیری در طول جوانه‌زنی تغییر می‌کنند. عوامل ضدتغذیه‌ای مانند ترکیبات نفاخ نیز بعد از جوانه‌زنی کاهش می‌یابند (Ayet et al., 1997). در گزارش‌های متعددی بر افزایش قابلیت زیست‌فراهمی موادمعدنی و قابلیت هضم پروتئین و نشاسته طی جوانه‌زنی اشاره شده است و همچنین، میزان اسیدفیتیک و تانن طی این مرحله کاهش می‌یابد (Murugkar et al., 2012).

Wanasundara و همکاران (۱۹۹۹) تغییر ترکیبات حاوی نیتروژن را در جوانه‌های بزرگ بررسی نموده و گزارش کردند که کاهش محتوای نیتروژن طی جوانه‌زنی بسیار ناچیز بود، در حالی که محتوای نیتروژن غیرپروتئینی به میزان ۳۳/۵-۹ درصد از پروتئین کل افزایش داشت. این افزایش برای آمینواسیدهای آزاد نیز مشاهده شد که می‌تواند ناشی از افزایش اسیدهای آمینه و پپتیدها و یا به دلیل افزایش ترکیبات نیتروژن‌دار غیرپروتئینی در طول جوانه‌زنی باشد. افزایش محسوس پروتئین را همچنین می‌توان به استفاده از کربوهیدرات‌ها به‌عنوان منبع انرژی برای پیشرفت جوانه‌زنی نسبت داد (Donangelo et al., 1995).

۴.۲. خیساندن (Soaking)

خیساندن دانه‌ها و کنجاله‌ها یک روش قدیمی است که برای از بین بردن ANFs مواد خوراکی با منشأ گیاهی استفاده می‌شود. خیساندن در آب توسط بسیاری از محققان برای بهبود قابلیت هضم مواد غذایی گیاهی مورد استفاده قرار گرفته است. در میان روش‌های پیش‌فرآوری برای از بین بردن ANF، خیساندن مواد خوراکی در انواع حلال‌ها، براساس حلالیت مواد ضد مغذی هدف، انجام می‌شود. با این حال، اشکال عمده، شستشوی موادمغذی، یعنی از دست دادن مواد مغذی ارزشمند، در حلال مورد استفاده است (Gopan et al., 2020).

Ghafariarsani و همکاران (۲۰۲۱) اسانس آویشن باغی اثرات مخرب آفلاتوکسین B₁ بر عملکرد رشد و وضعیت التهابی روده قزل‌آلای رنگین‌کمان را بهبود بخشید. در مطالعه Tasa و همکاران (۲۰۲۰) افزودن آویشن و رزماری به جیره غذایی آلوده به آفلاتوکسین B₁ افزایش فعالیت آنزیم‌های گوارشی را بهبود بخشید. اما از تغییرات پاتولوژیک بافت روده در بچه ماهیان کپور معمولی جلوگیری نکرد.

۴. شیوه‌های فرآوری اقلام خوراکی گیاهی

جهت استفاده در تغذیه دام، طیور و آبزیان

روش‌های متعددی برای کاهش محتوای ANFs مشتق شده از گیاهان در مواد خوراکی استفاده می‌شود. که به‌طور کلی می‌توان آن‌ها را به‌عنوان مثال به انواع الف) روش‌های فیزیکی مانند شستشو، تیمار حرارتی، فشاری و پوست‌گیری، ب) روش‌های شیمیایی شامل استفاده از حلال‌های قلیایی، اسیدها، اوره، آمونیاک، یون‌ها، نمک‌ها و غیره، ج) روش‌های زیست‌فناورانه شامل کاربرد میکروارگانیسم‌ها و فنون مهندسی ژنتیک، طبقه‌بندی کرد. در کل، ترکیبی از چندین روش مانند خیساندن در آب، تیمار حرارتی، تخمیر، پرتو تابی، افزودن آنزیم‌ها، اسیدهای آمینه ضروری و دستکاری‌های ژنتیکی برای کاهش محتوای ANFs استفاده می‌شود. برخی از فرآیندهای رایج مورد استفاده برای مدیریت محتوای مواد ضد تغذیه‌ای در زیر مورد بحث قرار می‌گیرند (Gopan et al., 2020).

۴.۱. جوانه‌زنی

یک روند طبیعی طی دوره رشد دانه است. طی این مدت، اندوخته مواد که معمولاً برای تنفس و ساخت سلول‌های جدید قبل از رشد جنین بکار می‌رود، تجزیه می‌شوند (Jirapa et al., 2001). در طول فرآیند جوانه‌زنی، واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پیچیده‌ای رخ می‌دهد، که باعث تغییرات وسیعی در ترکیب و یا ریخت

۴.۳. پخت به شیوه اکستروژن

(Extrusion cooking)

یکی دیگر از روش‌های پرکاربرد برای حذف مواد ضد مغذی از مواد غذایی به‌دست آمده از گیاهان است. در طول فرآیند اکستروژن، دمای بالا (۱۵۰-۹۰ درجه سانتی‌گراد) همراه با فشار و رطوبت اعمال می‌شود. بنابراین تمام ANF‌های حساس به حرارت را در خوراک همراه عوامل بیماری‌زا در صورت وجود، از بین می‌برد. در عین حال، ارزش غذایی خوراک را با افزایش قابلیت هضم مواد مغذی بهبود می‌بخشد. تیمار اکستروژن برای بهبود کیفیت برخی از دلنه‌های حبوبات مانند سویا یا کلزا به تنهایی یا مخلوط با نخود استفاده شده است (Gopan *et al.*, 2020).

۴.۴. پرتوتابی

پرتوتابی به‌عنوان روشی مناسب برای افزایش کیفیت پروتئین، بهبود قابلیت هضم مواد مغذی، حذف عوامل ضد تغذیه‌ای و همچنین کاهش یا حذف آلودگی خوراک آبریان قابل استفاده است. امواج مایکروویو یکی از مهمترین روش‌های استخراج ترکیبات با ارزش از مواد گیاهی است. امواج کوتاه مانند امواج نور یا امواج رادیویی، قسمتی از طیف الکترومغناطیس هستند که دو میدان الکتریکی و مغناطیسی دارند و از امکان اعمال فشار بر بار الکتریکی و قطب‌های مغناطیسی را به‌طور همزمان برخوردار هستند. هر چه طول موج کمتر باشد، انرژی بیشتری توسط موج منتقل می‌شود (Siddhuraju *et al.*, 2002). بدین طریق، می‌توان سهم پروتئین‌های گیاهی در جیره غذایی آبریان را افزایش و هزینه‌های تولید را کاهش داد (Bureau *et al.*, 2000). عوامل ضدتغذیه‌ای به دو دسته مقاوم و ناپایدار در برابر گرما تقسیم می‌شوند. بقولات غنی از عوامل ضد تغذیه‌ای ناپایدار در برابر گرما هستند. مهمترین عوامل ضد تغذیه‌ای مقاوم در برابر گرما در غذاهای با پروتئین گیاهی که در حال حاضر برای ماهی مصرف می‌شوند، اسید فیتیک، ساپونین و آنتی‌ژن‌ها

هستند (Refstie *et al.*, 1998). از روش‌های معمول عمل‌آوری حرارتی می‌توان به برشته کردن و اتوکلاو کردن، نواری کردن، میکرونیزه کردن، و عمل‌آوری با مایکروویو اشاره کرد (Sadeghi and Shawrang, 2006). معمولاً پرتوتابی با واحد "کیلو گری" Kilo Gray سنجیده و نشان داده می‌شود. کاربرد پرتوهای یون ساز گاما و الکترون با هدف استفاده از انرژی این پرتوها برای ایجاد پیوندهای عرضی در پروتئین‌ها، شکستن پیوندهای کووالانسی ترکیبات حلقوی و پلی‌ساکاریدها، جهت بهبود ارزش غذایی مواد خوراکی است (Siddhuraju *et al.*, 2002). از پرتوتابی با اشعه گاما برای حذف یا کاهش ترکیبات ضد تغذیه‌ای از جمله تریپسین، اسید فیتیک، تانن‌ها و الیگوساکاریدها استفاده شده است (Mahdi *et al.*, 2003). در همین راستا Mahdi و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که با افزایش دوز پرتوگاما از ۲ تا ۱۰ کیلو گری (kGy)، فعالیت ترکیب بازدارنده تریپسین و محتوای اسید فیتیک در لوبیا کاهش می‌یابد. علاوه بر کاهش ترکیبات ضدتغذیه‌ای، یکی دیگر از اهداف عمل‌آوری مواد خوراکی در تغذیه آبریان، افزایش قابلیت هضم پروتئین و در نتیجه، بهبود ارزش غذایی آن‌هاست. در مطالعه Shawrang و همکاران (۲۰۱۱) پرتوتابی با الکترون در دوزهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۹ کیلوگری موجب کاهش تانن به ترتیب به میزان ۲۸، ۳۰، ۴۲، ۸۳ و ۸۶ درصد در ذرت علوفه‌ای شد.

۴.۵. تخمیر (Fermentation)

تخمیر یکی از فرآیندهای خانگی مؤثر، ارزان و از نظر تغذیه‌ای مفید است. تخمیر نه تنها ایمنی و ماندگاری مواد غذایی را بهبود می‌بخشد، به‌طور طبیعی غذا را حفظ می‌کند و همچنین ارزش غذایی را بهبود می‌بخشد. این یک روش درمانی است که با هیدرولیز نشاسته توسط آنزیم‌ها شروع می‌شود. به‌طور کلی، باکتری‌های اسید لاکتیک در تخمیر برای تولید متابولیت‌ها، تجزیه گلوکزیدهای سیانوزن، تولید آنزیم‌ها، خواص پروبیوتیک و تولید بسیاری از مولکول‌های دیگر ضروری هستند. کاهش

برای ترکیبات غذایی آبریان استفاده می‌شود. همچنین، بخش جدایی‌ناپذیر فرآیند سم‌زدایی مواد غذایی است که به‌طور قابل توجهی محتوای مواد ضد تغذیه‌ای را کاهش می‌دهد. همچنین، به کمک این روش ارزش غذایی دانه‌های غذایی قابل ارتقاء است (Yuan *et al.*, 2013). از طریق روش تخمیر حالت جامد می‌توان از ظرفیت میکروارگانیسم‌های مختلف در تجزیه مواد ضد مغذی جهت عمل‌آوری زیستی منابع خوراکی گیاهی استفاده نمود. در این حالت میکروارگانیسم‌ها بر مواد جامد و با مقدار کم یا حداقل آب، رشد می‌کنند. این روش در مقایسه با تخمیر به روش غوطه‌وری دارای مزایایی از جمله، غلظت بالاتر فرآورده تولیدی، مقدار کمتر فاضلاب، نیاز کمتر به انرژی، سادگی روش انجام، محیط تخمیر ساده‌تر، نیاز به تجهیزات و فضای کمتر، هوادهی آسان‌تر، آلودگی باکتری‌های کمتر، قابلیت تکرارپذیری بالا و فقدان کنترل‌های شدید تخمیر، می‌باشد (Ghosh and Ray, 2017). در این فرآیند، میکروارگانیسم‌ها، قندهای محلول و اسیدهای آلی را مصرف کرده و اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب و ویتامین‌ها را تولید می‌کنند. بنابراین، سبب بهبود محتوای مواد مغذی نهاده اولیه غذایی مورد استفاده به‌عنوان سوسترا می‌شوند (Ghosh and Ray, 2017). تخمیر کنجاله دانه‌های روغنی با باکتری‌های اسیدلاکتیک می‌تواند منجر به کاهش محتوای تانن آن‌ها شود، بنابراین کارایی خوراک را افزایش داده و به افزایش پاسخ رشد کمک می‌نماید. تخمیر کنترل شده، تکثیر ارگانیسم‌های خاص و فعالیت‌های متابولیکی آن‌ها را در غذا ممکن می‌سازد. علاوه بر غیرفعال کردن مواد ضد مغذی، تخمیر با ارگانیسم‌های پروبیوتیک ممکن است به غنی‌سازی زیستی نیز کمک کند (Gopan *et al.*, 2020). تخمیر پودر سویا باعث غیرفعال‌سازی فاکتورهای ضد تغذیه‌ای، بهبود کیفیت تغذیه‌ای، بهبود قابلیت هضم و افزایش مدت زمان ماندگاری محصول فرآوری شده می‌شود (Lim *et al.*, 2010). Refstie و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند تخمیر اسید لاکتیکی می‌تواند عوامل ضد تغذیه‌ای کنجاله سویا را حذف و باعث بهبود قابلیت هضم

سطح ANF در طول تخمیر به فعالیت میکروارگانیسم‌های تخمیری نسبت داده می‌شود. تخمیر منجر به کاهش آلفا-گالاکتوزیدها و فیتات‌ها می‌شود و تأثیر مثبتی بر دسترسی به آهن و سایر مواد معدنی دارد. PH بهینه را برای تجزیه آنزیمی فیتات‌ها افزایش می‌دهد. سطوح برخی از عوامل ضد تغذیه‌ای، به‌ویژه فیتات‌ها و α -گالاکتوزیدها را در غلات و حبوبات کاهش می‌دهد، برای گندمیان، محتوای فیتات و رافینوز را به ترتیب ۷۵ درصد و ۸۳ درصد کاهش می‌دهد. بنابراین تخمیر یک روش میکروبی و آنزیمی برای درمان است که نه تنها ماندگاری غذاها را افزایش می‌دهد بلکه منجر به کاهش قابل توجه سطح ANF می‌شود. این نقش کاهش در واقع با کاهش pH امکان‌پذیر می‌شود. در مقایسه با خیساندن، نرخ کاهش به‌دست آمده توسط تخمیر قابل توجه‌تر است. این منجر به این نتیجه می‌شود که استفاده از تخمیر برای درمان بذر حبوبات و به‌ویژه لوبیا چشم بلبلی دارایی خوبی از نقطه نظر تغذیه‌ای خواهد بود (Diouf *et al.*, 2019).

تخمیر فرآیندی است که به میکروارگانیسم‌هایی مانند *Bacillus subtilis* اجازه می‌دهد که ماکرومولکول‌های پروتئینی را به مقدار زیادی ترکیبات محلول در آب با وزن مولکولی پایین تجزیه کنند (Kiers *et al.*, 2000). تخمیر رویکرد نوآورانه‌ای است که از طریق آن قابلیت هضم مواد مغذی و همچنین زیست‌فراهمی آن‌ها را می‌توان بهبود بخشید (Yuan *et al.*, 2013). مقدار رطوبت مورد نیاز (۴۰-۶۰ درصد)، بسته به نوع میکروارگانیسم‌ها متفاوت است. تخمیر را از نظر میزان رطوبت مورد استفاده، می‌توان به دو نوع تخمیر جامد و تخمیر غوطه‌ور تقسیم کرد. در تخمیر غوطه‌ور، از مواد مایع همچون ملاس، به‌عنوان محیط کشت میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شود. مواد مایع در فرآیند تخمیر به‌سرعت مصرف‌شده که بایستی با مواد مغذی دیگر جایگزین گردند. این شیوه، روش مناسبی برای کشت باکتری‌ها به‌علت نیاز بیشتر باکتری‌ها به آب، جهت رشد خود در مقایسه با دیگر میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. تخمیر حالت جامد در غیاب و یا تقریباً عدم حضور آب آزاد اتفاق می‌افتد. تخمیر حالت جامد عمدتاً

شده است که منجر به کندی تجزیه و هضم در دستگاه گوارش ماهی می‌شود. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که استفاده از آنزیم‌ها برای پیش تصفیه مواد خام مشتق شده از گیاه، قابلیت هضم غذا و سرعت رشد ماهی را بهبود می‌بخشد (Maas *et al.*, 2020).

بیشتر آنزیم‌های مورد استفاده در خوراک ماهی متعلق به دسته‌ای از هیدرولازها هستند و در این میان، پروتئازها، گلوکوزیدازها و لیپازها بیشترین کاربرد را دارند (Ghosh *et al.*, 2019). این آنزیم‌ها می‌توانند هضم عوامل ضد تغذیه‌ای موجود در خوراک ماهی را بهبود بخشند، مانند پروتئین‌های آنتی‌ژن، الیگوساکاریدهای غیرقابل هضم مانند استاکیوز و رافنوز و اسید فیتیک که باعث هضم کند، سوءتغذیه و رشد محدود ماهی می‌شود. استفاده از فیتازها در فرمولاسیون خوراک، برای هضم فیتات‌های گیاهی ضروری بوده، فراهمی زیستی فسفر و سایر موادمعدنی و همچنین عملکرد کلی رشد را افزایش می‌دهد (Liang *et al.*, 2022). علاوه بر این، برای کاهش بیماری‌های آبزی‌پروری و ارتقای سلامت ماهیان پرورشی، برخی از فرآورده‌های آنزیمی مورد استفاده برای بهبود سلامت روده و مهار باکتری‌های مضر نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند که برای کنترل و کاهش مصرف آنتی‌بیوتیک، بهبود محیط‌زیست، و ایمنی غذا در آبزی‌پروری حائز اهمیت است (Liang *et al.*, 2022). در مطالعه Mohammadi و همکاران (۲۰۲۰) کنجاله کانولا (CM) را با استفاده از ۲۰۰۰ IU/kg فیتاز حذف و در محلول آمونیاک متانولی (MAS) قراردادند. کنجاله کانولای فرآوری‌شده (PCM) به‌عنوان جایگزین پودر ماهی (FM) در جیره غذایی بچه ماهی تیلاپیا نیل بکار رفت. در نهایت، پنج جیره ایزونیترژن و ایزوانرژیک با گنجلدن ۰ (شاهد)، ۱۲/۵، ۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ درصد PCM با مصرف FM جیره غذایی فرموله شد. با این حال، بیان ژن نسبی سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، گلوکاتایون پراکسیداز (GPx) و کاتالاز (CAT) به‌طور قابل توجهی با افزایش محتوای PCM جیره غذایی افزایش یافت. مطابق با عملکرد رشد، مشاهدات بافت‌شناسی نشان داد که آن

پروتئین، چربی و کربوهیدرات جیره ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان شود. علاوه بر این، Yamamoto و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که ارزش غذایی کنجاله سویا وابسته به شرایط تخمیر است و پودر ماهی موجود در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان را می‌توان به‌طور کامل با کنجاله سویای تخمیر شده جایگزین نمود.

۴.۶. آنزیم‌ها

آبزی‌پروری نوین باید از نظر مصرف انرژی، مواد خام مورد استفاده و اثرات زیست‌محیطی پایدار باشد، بنابراین جایگزین‌هایی برای جایگزینی خوراک ماهی با مواد خام دیگر مورد نیاز است. استفاده از آنزیم‌ها در صنایع کشاورزی و غذایی براساس کارایی، ایمنی و حفاظت از محیط زیست است که با الزامات یک سیستم تولید و صرفه‌جویی در منابع مطابقت دارد. مکمل آنزیمی در خوراک ماهی می‌تواند قابلیت هضم و جذب ترکیبات گیاهی و حیوانی را بهبود بخشد و پارامترهای رشد حیوانات آبزی را افزایش دهد (Liang *et al.*, 2022). آبزی‌پروری متراکم برای رشد گونه‌ها در تمام مراحل زندگی نیاز به تغذیه مؤثر و اقتصادی ماهی دارد. توسعه خوراک ماهی متشکل از تمام مواد مغذی ضروری متعادل برای رشد، بقا و تولید مثل سودآور مورد نیاز است (Sampath *et al.*, 2020). اگرچه برخی از خوراک‌های تجاری ماهی از مواد خام جایگزین با منشاء غیر دریایی استفاده می‌کنند که دارای خواص تغذیه‌ای خوبی هستند، اما ارزش غذایی منحصر به فرد خوراک فرموله‌شده با FM و FO را برآورده نمی‌کنند. از این‌رو، بهبود در دسترس بودن و ارزش غذایی مواد خام جایگزین از طریق فناوری مهندسی زیستی به‌ویژه فناوری آنزیم مهم است. استفاده از آنزیم‌ها برای توسعه صنعت آبزی‌پروری پایدار مهم است (Liang *et al.*, 2022). خوراک ماهی باید به‌طور مطلوب توسط آنزیم‌های مناسب هضم شود تا مقادیر مورد نیاز کالری و مواد مغذی ضروری برای ماهی پرورشی فراهم شود. بیشتر مواد افزوده شده به غذای ماهی، به‌ویژه مواد خام غیر ماهی، از مواد آلی با وزن مولکولی بالا تشکیل

در گروه‌های آزمایشی تفاوتی نداشت. در این میان، گلوکز اکسیداز و لیزوزیم رایج‌ترین افزودنی‌های خوراک آنزیم برون‌زا محسوب می‌شوند (Liang et al., 2022).

۵. بحث و نتیجه‌گیری نهایی

جستجو برای مواد غذایی در دسترس و ارزان قیمت برای جایگزینی پودر ماهی سبب توجه ویژه به مواد گیاهی شده است. در سال‌های گذشته، تلاش‌های زیادی در زمینه استفاده از مواد غذایی غیرمتعارف برای به حداقل رساندن رقابت سایر بخش‌های تولید خوراک صورت گرفته است. از آنجا که وجود عوامل ضد تغذیه‌ای ANFها اصلی‌ترین عاملی‌اند که بر استفاده از دانه‌های غیرخوراکی گیاهان در صنعت خوراک تأثیر می‌گذارند، زمان آن فرا رسیده است که این ترکیبات به‌نحو مقتضی از منابع گیاهی حذف شوند یا محتوای آن‌ها جهت استفاده در صنعت خوراک آبزیان کاهش یابد. با این‌که، وجود مواد ضد مغذی در خوراک معمولاً منجر به مرگ و میر موجود هدف نمی‌شود، می‌تواند اثر نامطلوبی بر عملکرد و سلامتی ماهی بر جای بگذارد. شدت این آثار به عوامل مختلفی مانند گونه‌آبی، نوع ماده ضد تغذیه‌ای، سطح ماده ضد مغذی و سیستم پرورش متفاوت است. از این‌رو، باید یک رویکرد علمی در انتخاب گونه‌آبی پرورشی و بررسی اثر ضد مغذی‌های مشتق شده از مواد خوراکی گیاهی مصرفی قبل از گزینش شیوه‌های حذف مؤثر این ترکیبات داشت.

ماهی‌ها سطوح بالاتری از محتوای PCM جیره را دریافت کردند (یعنی ۳۷/۵ و ۵۰ درصد)، نفوذ شدید سلول‌های ایمنی تک هسته‌ای روده‌ای و کبدی، گسترش لایه پروپریا و جدا شدن و کوتاه شدن پرزهای روده را نشان دادند. در نتیجه، علی‌رغم اینکه حاوی گلوکوزینولات کمتر، اسیدفیتیک، ترکیبات فنولی و تانن‌ها به‌خوبی در آستانه توصیه‌شده برای تغذیه آبزیان بود، جیره‌های حاوی PCM بیش از ۲۵ درصد بر عملکرد رشد و ساختار بافت روده و کبد بچه ماهی تیلاپیا نیل تأثیر منفی گذاشت (Mohammadi et al., 2020). در مطالعه دیگری از Mohammadi و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر جیره‌های غذایی مختلف کانولای فرآوری‌شده، چهار جیره با نیتروژن و انرژی یکسان (۱) بدون کنجاله کانولا (شاهد)، (۲) ۲۵ درصد کنجاله کانولا غیرفرآوری شده (CM)، (۳) کنجاله کانولای تیمار شده با محلول آمونیاک متانول ۲۵ درصد (با استفاده از ۲۰۰۰ IU/kg فیتاز)، کنجاله کانولا تیمار شده (CPM)، و (۴) کنجاله کانولا (ECM) تحت تابش پرتو الکترونی (۱۵ کیلوگری) با محلول آمونیاک متانول، به‌عنوان جایگزین پودر ماهی بر عملکرد رشد، فعالیت آنزیم‌های گوارشی، شاخص‌های ایمنی و وضعیت آنتی‌اکسیدانی کبد ماهی تیلاپیا نیل *Oreochromis niloticus* بررسی شد. در نتیجه، ماهی تیلاپیا نیل عملکرد پایین‌تری و شاخص‌های تغذیه‌ای پایین‌تری از خود نشان داد که بیشتر به‌دلیل کاهش مصرف خوراک به دنبال تغذیه با جیره‌های حاوی کنجاله کلزای خام یا فرآوری‌شده متفاوت بود. علاوه بر این، ایمنی ذاتی مخاطی و شاخص‌های آنتی‌اکسیداتیو کبدی

References

- Falah, M., Dastar, B., Ganji, F., Ashayerizadeh, A., 2016. Effects of fermented soybean meal and dietary protein level on performance and gastrointestinal microbial population in broiler chickens. *Animal Sciences Journal* 28(109), 53-66. (in Persian). DOI: 10.22092/ASJ.2016.106085
- Ayet, G., Burbano, C., Cuadrado, C., Pedrosa, M.M., Robredo, L.M., Muzquiz, M., Osagie, A., 1997. Effect of germination, under different environmental conditions, on saponins, phytic acid and tannins in lentils (*Lens culinaris*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 74(2), 273-279. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199706)74:2<273::AID-JSFA800>3.0.CO2-L

۶. منابع

- Bureau, D.P., Harris, A. M., Bevan, D.J., Simmons, L.A., Azevedo, P.A., Cho, C.Y., 2000. Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Aquaculture* 181(3-4), 281-291. DOI: 10.1016/S0044-8486(99)00232-X
- Choct, M., Dersjant-Li, Y., McLeish, J., Peisker, M., 2010. Soy oligosaccharides and soluble non-starch polysaccharides: a review of digestion, nutritive and anti-nutritive effects in pigs and poultry. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 23(10), 1386-1398. DOI: 10.5713/ajas.2010.90222.
- Diouf, A., Sarr, F., Sene, B., Ndiaye, C., Fall, S.M., Ayessou, N.C., 2019. Pathways for reducing anti-nutritional factors: Prospects for *Vigna unguiculata*. *Journal of Nutritional Health & Food Science* 7(2), 1-10. DOI:10.15226/JNHFS.2019.001157
- D'Mello, J.P.F., Macdonald, A.M.C., 1998. Fungal toxins as disease elicitors. In *Environmental Toxicology* (pp. 267-304). CRC Press. edited by J Rose. DOI: 10.4324/9780203305515
- Donangelo, C.M., Trugo, L.C., Trugo, N.M.F., Eggum, B.O., 1995. Effect of germination of legume seeds on chemical composition and on protein and energy utilization in rats. *Food Chemistry* 53(1), 23-27. DOI: [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)95781-Z](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)95781-Z)
- FAO., 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nation. The State of World Fisheries and Aquaculture. Sustainability in Action. Rome. 1-244. DOI: 10.4060/ca9229en
- Francis, G., Makkar, H.P., Becker, K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199(3-4), 197-227. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00526-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00526-9)
- Freeland, W.J., Calcott, P.H., Anderson, L.R., 1985. Tannins and saponin: interaction in herbivore diets. *Biochemical Systematics and Ecology* 13(2), 189-193. DOI: 10.1016/0305-1978(85)90078-X
- Ghafariarsani, H., Kachuei, R., Imani, A., 2021. Dietary supplementation of garden thyme essential oil ameliorated the deteriorative effects of aflatoxin B1 on growth performance and intestinal inflammatory status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 531, 735928. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735928
- Ghafariarsani, H., Imani, A., Niewold, T.A., Pietsch-Schmied, C., Moghanlou, K.S., 2021. Synergistic toxicity of dietary aflatoxin B1 (AFB1) and zearalenone (ZEN) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is attenuated by anabolic effects. *Aquaculture* 541, 736793. DOI: 10.1016/J.AQUACULTURE.2021.736793
- Ghosh, K., Ray, A.K., 2017. Aquafeed formulation using plant feedstuffs: Prospective application of fish-gut microorganisms and microbial biotechnology. In *Soft chemistry and food fermentation* (pp. 109-144). Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-12-811412-4.00005-9
- Ghosh, K., Ray, A.K., Ringo, E., 2019. Applications of plant ingredients for tropical and subtropical freshwater finfish: possibilities and challenges. *Reviews in Aquaculture* 11(3), 793-815. DOI:10.1111/raq.12258
- Gopan, A., Sahu, N.P., Varghese, T., Sardar, P., Maiti, M.K., 2019a. Karanj protein isolate prepared from karanj seed cake: Effect on growth, body composition and physiometabolic responses in *Labeo rohita* fingerlings. *Aquaculture Nutrition* 26(3), 737-751. DOI:10.1111/anu.13033
- Gopan, A., Lalappan, S., Varghese, T., Kumar Maiti, M., Peter, R.M., 2020. Anti-Nutritional Factors in Plant-Based Aquafeed Ingredients: Effects on Fish and Amelioration Strategies. *Biosc.Biotech. Res. Comm. Thomson Reuters ISI Web of Science Clarivate Analytics USA and Crossref Indexed Journal* pp. 01-09
- Hajra, A.A., Mazumder, A., Verma, D.P., Ganguly, B.P., Mohanty, B.P., Sharma, A.P., 2013. Antinutritional factors in plant origin fish feed ingredients: the problems and probable remedies. *Advances in Fish Research* 5, 193-202. <https://www.researchgate.net/publication/283318816>

- Imani, A., Salimi Bania, M., Noori, F., Farzaneh, F., Sarvi Moghanlou, K., 2017. The effect of bentonite and yeast cell wall along with cinnamon oil on aflatoxicosis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Digestive enzymes, growth indices, nutritional performance and proximate body composition. *Aquaculture* 476 (2017), 160-167. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.04.023
- Jirapa, P., Normah, H., Zamallah, M.M., Asmah, R., Mohamad, K., 2001. Nutritional quality of germinated cowpea flour (*Vigna unguiculata*) and its application in home prepared powdered weaning foods. *Plant Foods for Human Nutrition* 56, 203-16. DOI: 10.1023/a:1011142512750
- Kiers J.L., Van Laeken A.E., Rombouts F.M., Nout M.J., 2000. In vitro digestibility of bacillus fermented soya bean. *International Journal of Food Microbiology* 60, 163-169. DOI: 10.1016/S0168-1605(00)00308-1. DOI: 10.1016/s0168-1605(00)00308-1
- Lee, C.S., Donaldson, E.M., 2001. General discussion on reproductive biotechnology in finfish aquaculture. *Aquaculture* 197, 303-320. DOI: 10.1016/S0044-8486(01)00591-9
- Liener, I.E., 1980. Toxic Constituents of Plant Foodstuffs. Academic Press, New York 10003, NY, pp. 1-502.
- Liang, Q., Yuan, M. Xu, L., Lio, E., Zhang, F. Mou, H., Secundo, F., 2022. Application of enzymes as a feed additive in aquaculture. *Marine Life Science and Technology* 4, 208-221. DOI: 10.1007/s42995-022-00128-z
- Lim S.J., Kim S.S., Pham M.A, Song J.W., Cha J.H., Kim J.D, Kim J.U., Lee K.J., 2010. Effects of fermented cottonseed and soybean meal with phytase supplementation on gossypol degradation, phosphorus availability, and growth performance of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Fisheries and Aquatic Sciences* 13, 284-293. DOI: 10.5657/fas.2010.13.4.284
- Makkar, H.P.S., Francis, G., Becker, K., 2007. Bioactivity of phytochemicals in some lesser-known plants and their effects and potential applications in livestock and aquaculture production systems. *Animal* 1(9), 1371-1391. DOI: 10.1017/S1751731107000298
- Mahdi, T., Al-Kaisey, Abdul-Kader, H., Alwan, Mohammad, M.H., Saeed, A.H., 2003. Effect of gamma irradiation on antinutritional factors in broad bean. *Radiation Physics and Chemistry* 67, 493-496. DOI: 10.1016/S0969-806X(03)00091-4
- Maas R.M., Verdegem M.C.J, Stevens, T.L., Schrama, J.W., 2020 Effect of exogenous enzymes (phytase and xylanase) supplementation on nutrient digestibility and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed different quality diets. *Aquaculture* 529, 723-735. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735723
- Mohammadi, M. Imani, A. Farhangi, M. Gharaei, A. Hafeziyeh, M., 2020. Replacement of fishmeal with processed canola meal in diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): growth performance, mucosal innate immunity, hepatic oxidative status, liver and intestine histology. *Aquaculture* 734824. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734824
- Mohammadi, M., Imani, A., Farhangi, M., Gharaei, A., Hafeziyeh, M., 2022. Efficacy of various processed canola meals to replace fish meal in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* diet: Growth performance, digestive enzymes, immune parameters, and liver antioxidative status. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 21(4), 966-986. DOI: 10.22092/ijfs.2022.127517
- Morgan, E.D., 2009. Azadirachtin, a scientific gold mine. *Bioorganic and Medicinal Chemistry* 17(12), 4096-4105. DOI: 10.1016/j.bmc.2008.11.081
- Murugkar, D.A., Gulati, P. and Gupta, C., 2012. Effect of sprouting on physical properties and functional and nutritional components of multi-nutrient mixes. *International Journal of Food and Nutritional Sciences* 2(2), 8. DOI: ID: 41691149
- Nath, H., Samtiya, M., Dhewa. T., 2022. Beneficial attributes and adverse effects of major plant-based foods anti-nutrients on health: A review. *Human Nutrition and Metabolism* 200147. DOI: 10.1016/j.hnm.2022.200147

- Naylor, R., Hardy, R., Bureau, D., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A., Forster, I., Gatlin, D., Goldberg, R., Hua, K., Nichols, P., 2009. Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(36), 15103-15110. DOI: 10.1073/pnas.0905235106
- Rahman, M. M., Abdullah, R. B., Wan Khadijah, W. E., Nakagawa, T., Akashi, R., 2013. Feed intake, digestibility and growth performance of goats offered napier grass supplemented with molasses protected palm kernel cake and soya waste. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 8(3), 527-534. DOI: 10.3923/ajava.2013.527.534
- Refstie, S., Storebakken, T., Roem, A.J., 1998. Feed consumption and conversion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with fish meal, extracted soybean meal or soybean meal with reduced content of oligosaccharides, trypsin inhibitors, lectins and soya antigens. *Aquaculture* 162, 301-312. DOI: 10.1016/S0044-8486(98)00222-1
- Refstie, S., Sahlström, S., Bråthen, E., Baeverfjord, G., Krogedal, P., 2005. Lactic acid fermentation eliminates indigestible carbohydrates and antinutritional factors in soybean meal for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 246, 331-345. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2005.01.001
- Sadati, F., Shahsavani, D and Baghshani, H., 2013. Biochemical alterations induced by sublethal cyanide exposure in common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Biological and Environmental Sciences* 7(20): 65-69. DOI: ID: 37203508
- Sadeghi, A.A., Shawrang, P., 2006. Effects of microwave irradiation on ruminal degradability and in vitro digestibility of canola meal. *Animal Feed Science and Technology* 127(1-2), 45-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.016>
- Sanz, A., Morales, A. E., De la Higuera, M., Gardenete, G., 1994. Sunflower meal compared with soybean meals as partial substitutes for fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: protein and energy utilization. *Aquaculture* 128(3-4), 287-300. DOI: 10.1016/0044-8486(94)90318-2
- Shawrang, P., Sadeghi, A.A., Behgar, M., Zareshahi, H., Shahhoseini, G., 2011. Study of chemical compositions, antinutritional contents and digestibility of electron beam irradiated sorghum grains. *Food Chemistry* 125: 376-379. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.09.010
- Siddhuraju, P., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2002. The effect of ionizing radiation on antinutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food. *Food Chemistry* 78, 187-205. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00398-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00398-3)
- Smith, K.J., 1970. Practical significance of gossypol in feed formulation. *Journal of the American Oil Chemists Society* 47, 448-450. DOI: 10.1007/BF02632964
- Sotodeh, E., Amirimoghadam, J., Shahhosseini, G.R., Bagheri, D., 2016. Changes in the final weight, survival rate and fatty acids of the Caspian Sea salmon (*Salmo trutta caspius*) fed with irrigated and fermented soybean meal. *Nutrition and Aquaculture* 2, 33-46. DOI: 10.22124/JANB.2017.3167
- Sampath W.W.H.A., Rathnayake R.M.D.S., Yang M, Zhang, W, Mai, K., 2020. Roles of dietary taurine in fish nutrition. *Marine Life Science and Technology* 2(4), 360-375. DOI: 10.1007/s42995-020-00051-1.
- Storebakken, T., Shearer, K.D., Roem, A.J., 1998. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 161, 365-379. DOI: 10.1016/S0044-8486(97)00284-6
- Tasa, H., Imani, A., Moghanlou, K. S., Nazdar, N and Moradi-Ozarlou, M., 2020. Aflatoxicosis in fingerling common carp (*Cyprinus carpio*) and protective effect of rosemary and thyme powder: Growth performance and digestive status. *Aquaculture* 527: 735437. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735437
- Tidwell, J.H., Allan, G.L., 2002. Fish as food: aquaculture's contribution. *World Aquaculture* 33, 44-48.
- Van Immerseel, F., Fievez, V., De Buck, J., Pasmans, F., Martel, A., Haesebrouck, F and Ducatelle, R., 2004. Microencapsulated short-chain fatty acids in feed modify colonization and invasion early after infection with *Salmonella enteritidis* in young chickens. *Poultry Science* 83(1), 69-74. DOI: 10.1093/ps/83.1.69

- Vikram, N., Katiyar, S. K., Singh, C. B., Husain, R., Kumar Gangwar, L., 2020. A Review on Anti-Nutritional Factors. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9(5), 1128-1137. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.123>
- Way, J.L., 1984. Cyanide intoxication and its mechanism of antagonism. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology* 24(1), 451-481. DOI: 10.1146/annurev.pa.24.040184.002315
- Wanasundara, P. K.J.P.D., Shahidi, F., Brosnan, M.E., 1999. Changes in flax (*Linum usitatissimum*) seed nitrogenous compounds during germination. *Food Chemistry* 65(3), 289-295. DOI: 10.1016/S0308-8146(98)00176-9
- Yamamoto M., Saleh F., Hayashi K., 2004. A fermentation method to dry and convert shochu distillery byproduct to a source of protein and enzymes. *Journal of Poultry Science* 41, 275-280. DOI:10.2141/jpsa.41.275
- Yamamoto, T., Iwashita, Y., Matsunari, H., Sugita, T., Furuita, H., Akimoto, A., Okamatsu, K., Suzuki, N., 2010. Influence of fermentation conditions for soybean meal in a non-fish meal diet on the growth performance and physiological condition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 309, 173-180. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.09.021
- Yasar, S., 2003. Performance, gut size and ileal digesta viscosity of broiler chickens fed with a whole wheat added diet and the diets with different wheat particle sizes. *International Journal of Poultry Science* 2(1): 75-82. DOI: 10.3923/ijps.2003.75.82.
- Yuan, L., Wu, L., Yang, C. and Lv, Q., 2013. Effects of iron and zinc foliar applications on rice plants and their grain accumulation and grain nutritional quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93(2), 254-261. DOI: 10.1002/jsfa.5749
- Yigit M., Erdem M., Koshio S., Ergün S., Tür-ker A., and Karaali B., 2006. Substituting fish meal with poultry by-product meal in diets for Black Sea turbot *Psetta maotica*. *Aquaculture Nutrition* 12, 340-347. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2006.00409.x