



## راهکارهای تقویت سیستم ایمنی ماهی تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*): مروری بر نقش تغذیه و محرک‌های ایمنی

حسین باقری<sup>۱\*</sup>، مجید سواری<sup>۲</sup>، سارا مهدی زاده مود<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم دامی، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

[itshusseinbaqeri@semnan.ac.ir](mailto:itshusseinbaqeri@semnan.ac.ir)

۲- استادیار، گروه علوم دامی، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

[majid.savari@semnan.ac.ir](mailto:majid.savari@semnan.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه بهداشت و بیماریهای آبزیان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

[smehdizadeh@semnan.ac.ir](mailto:smehdizadeh@semnan.ac.ir)

### خلاصه

صنعت پرورش ماهی تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*) در سال‌های اخیر به دلیل رشد سریع، مقاومت نسبی به شرایط محیطی و بازار مصرف گسترده، توسعه چشمگیری یافته است. با این حال، انتقال به سیستم‌های پرورش متراکم و فوق‌متراکم، ماهی را در معرض استرس‌های فیزیولوژیک شدید قرار داده است که منجر به تضعیف سیستم ایمنی و افزایش آسیب‌پذیری در برابر عوامل بیماری‌زای باکتریایی، ویروسی و انگلی می‌گردد. استفاده بی‌رویه از آنتی‌بیوتیک‌ها برای کنترل این بیماری‌ها علاوه بر ایجاد سویه‌های مقاوم، نگرانی‌های جدی برای سلامت عمومی و محیط‌زیست ایجاد کرده است. در این مقاله مروری، راهکارهای نوین تقویت سیستم ایمنی غیراختصاصی تیلاپیا به عنوان جایگزین‌های پایدار مورد بررسی قرار گرفته‌اند. محور اصلی این پژوهش بر ارزیابی عملکرد محرک‌های ایمنی (Immunostimulants) شامل پروبیوتیک‌ها (مانند *Bacillus spp*)، پری‌بیوتیک‌ها (مانند مانان-الیگوساکاریدها)، ترکیبات گیاهی (Phytogenics) و مکمل‌های معدنی-ویتامینی تمرکز دارد. یافته‌های بررسی شده نشان می‌دهند که به‌کارگیری هوشمندانه این ترکیبات در جیره غذایی، ضمن بهبود شاخص‌های رشد، موجب ارتقای سطح فعالیت آنزیم‌های دفاعی نظیر لایزوزیم، فعالیت باکتری‌کشی پلاسما و افزایش سطح ایمونوگلوبولین M (IgM) می‌گردد. علاوه بر این، توسعه واکسن‌های نو ترکیب و نانواکسن‌ها توانسته است ایمنی اختصاصی مؤثری علیه بیماری‌های ویروسی و باکتریایی ایجاد کند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که اتخاذ رویکردهای تغذیه‌ای مذکور، می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در مدیریت سلامت آبزیان، ضمن کاهش وابستگی به مواد شیمیایی، پایداری تولید در مزارع تیلاپیا را تضمین نماید.

**کلمات کلیدی:** تیلاپیا، سیستم ایمنی، پروبیوتیک، ترکیبات گیاهی، محرک‌های ایمنی



## مقدمه

آبزی پروری در دهه های اخیر به یکی از سریع ترین بخش های در حال رشد در تولید مواد غذایی جهان تبدیل شده است و نقش مهمی در تأمین پروتئین حیوانی، امنیت غذایی و توسعه اقتصادی بسیاری از کشورها ایفا می کند. در این میان، ماهی تیلاپیا به دلیل ویژگی هایی نظیر رشد سریع، سازگاری با شرایط محیطی مختلف، تحمل تراکم بالا، تغذیه همه چیزخواری و هزینه پایین تولید، از مهم ترین گونه های پرورشی جهان محسوب می شود [۱]. تولید جهانی تیلاپیا طی سال های اخیر روند افزایشی داشته و این گونه به یکی از ارکان اصلی آبزی پروری گرمایی تبدیل شده است [۲]. با وجود مزایای فراوان، توسعه پرورش متراکم تیلاپیا باعث افزایش استرس های محیطی و شیوع بیماری های عفونی شده است. بیماری های باکتریایی نظیر استرپتوکوکوزیس، کلومناریس و ادواردسیلوزیس و همچنین بیماری های ویروسی مانند وایروس دریاچه تیلاپیا (TiLV) خسارات اقتصادی قابل توجهی به صنعت آبزی پروری وارد کرده اند [۳]. استفاده گسترده از آنتی بیوتیک ها برای کنترل بیماری ها علاوه بر ایجاد مقاومت آنتی بیوتیکی، موجب بروز نگرانی های زیست محیطی و تهدید سلامت انسان شده است. به همین دلیل، پژوهشگران به دنبال راهکارهای جایگزین و پایدار برای کنترل بیماری ها و افزایش مقاومت طبیعی ماهی هستند.

سیستم ایمنی ماهیان شامل دو بخش ایمنی ذاتی و اکتسابی است که نقش اساسی در مقابله با عوامل بیماری زا دارند. سیستم ایمنی ذاتی نخستین سد دفاعی بدن در برابر عوامل بیماری زا بوده و شامل مخاط پوستی، آنزیم لیزوزیم، کمپلمان، فاگوسیت ها و پپتیدهای ضد میکروبی می شود. این سیستم نقش مهمی در شناسایی سریع عوامل بیماری زا و حذف آن ها دارد. در مقابل، سیستم ایمنی اختصاصی شامل لنفوسیت های B و T و تولید آنتی بادی است که پاسخ اختصاصی و طولانی مدت ایجاد می کند [۴]. مطالعات نشان داده اند که استرس های محیطی مانند تراکم بالا، کاهش کیفیت آب، نوسانات دمایی و تغذیه نامناسب می توانند موجب تضعیف سیستم ایمنی تیلاپیا شوند و حساسیت به بیماری ها را افزایش دهند [۲]. بنابراین، حفظ تعادل فیزیولوژیک و محیطی در کنار استفاده از محرک های ایمنی می تواند عملکرد سیستم ایمنی را بهبود بخشد. در سال های اخیر استفاده از پروبیوتیک ها، پری بیوتیک ها، سین بیوتیک ها، گیاهان دارویی، مکمل های تغذیه ای، واکسن ها و پپتیدهای ضد میکروبی به عنوان روش های مؤثر برای تحریک پاسخ های ایمنی تیلاپیا مورد توجه قرار گرفته است [۵]. علاوه بر این، مدیریت صحیح کیفیت آب، کاهش استرس و استفاده از رژیم های غذایی متعادل نقش مهمی در بهبود عملکرد سیستم ایمنی دارند. بنابراین، شناخت و بررسی راهکارهای نوین تقویت ایمنی در تیلاپیا می تواند نقش مهمی در توسعه پایدار آبزی پروری ایفا کند. هدف این مقاله مروری، بررسی جامع مهم ترین روش های تقویت سیستم ایمنی ماهی تیلاپیا و ارزیابی اثرات آن ها بر سلامت و مقاومت در برابر بیماری ها در سیستم های پرورش آبزیان است.

## نقش پروبیوتیک ها در تقویت سیستم ایمنی

پروبیوتیک ها میکروارگانیسم های مفیدی هستند که در صورت مصرف کافی، اثرات مثبتی بر سلامت میزبان دارند. در آبزی پروری، استفاده از پروبیوتیک ها به عنوان جایگزین آنتی بیوتیک ها مورد توجه قرار گرفته است. این ترکیبات می توانند از طریق رقابت با عوامل بیماری زا، تولید مواد ضد میکروبی، بهبود هضم غذا و تحریک سیستم ایمنی موجب افزایش سلامت تیلاپیا شوند. مطالعات مختلف نشان داده اند که استفاده از گونه های *Lactobacillus*، *Bacillus* و *Saccharomyces* در جیره غذایی تیلاپیا موجب افزایش فعالیت لیزوزیم، فاگوسیتوز و سطح ایمونوگلوبولین ها می شود [۵]. همچنین پروبیوتیک ها می توانند ساختار میکروبیوتای روده را بهبود بخشیده و مقاومت ماهی را در برابر بیماری ها افزایش دهند [۶].



## گیاهان دارویی و ترکیبات طبیعی

در سال‌های اخیر استفاده از گیاهان دارویی به‌عنوان محرک ایمنی در آبی‌پروری افزایش یافته است. ترکیبات گیاهی به دلیل دارا بودن مواد آنتی‌اکسیدانی، ضدباکتریایی و ضدالتهابی می‌توانند موجب بهبود عملکرد سیستم ایمنی شوند. نتایج یک مطالعه [۷] نشان داد استفاده از عصاره *Aegle marmelos* در جیره غذایی تیلاپیا باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، بهبود رشد و افزایش مقاومت در برابر *Streptococcus agalactiae* شد. همچنین استفاده از سیر، زنجبیل، زردچوبه و آلوئه‌ورا در جیره غذایی تیلاپیا موجب تحریک پاسخ ایمنی و کاهش تلفات ناشی از بیماری‌ها شده است.

## واکسن‌ها و ایمنی اختصاصی

واکسیناسیون یکی از مؤثرترین روش‌های کنترل بیماری‌ها در آبی‌پروری محسوب می‌شود. واکسن‌ها با تحریک سیستم ایمنی اختصاصی موجب ایجاد حافظه ایمنی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا می‌شوند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که واکسن‌های غیرفعال و نوترکیب علیه *TiLV* و *Streptococcus agalactiae* توانسته‌اند پاسخ ایمنی مناسبی در تیلاپیا ایجاد کنند [۸]. همچنین گزارش شده است که ماهی تیلاپیا پس از مواجهه با ویروس *TiLV* قادر به ایجاد ایمنی محافظتی مؤثر است که اهمیت توسعه برنامه‌های واکسیناسیون در این گونه را نشان می‌دهد [۹]. علاوه بر این، ویروس *TiLV* به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بیماری‌های نوظهور تیلاپیا، تهدیدی جدی برای صنعت آبی‌پروری جهان محسوب می‌شود و راهبردهای متعددی برای کنترل آن پیشنهاد شده است [۱۰]. استفاده از نانوواکسن‌ها نیز موجب افزایش کارایی انتقال آنتی‌ژن و تحریک بهتر سیستم ایمنی شده است [۱۱]. همچنین واکسن‌های چند اپی‌توپی توانسته‌اند پاسخ آنتی‌بادی مؤثری در برابر *Edwardsiella ictaluri* ایجاد کنند و مقاومت تیلاپیا را افزایش دهند [۱۲]. از سوی دیگر، باکتری *Flavobacterium columnare* به‌عنوان یکی از عوامل بیماری‌زای مهم در تیلاپیا شناخته می‌شود که می‌تواند موجب تلفات قابل توجه در سیستم‌های پرورشی شود [۱۳].

## پپتیدهای ضد میکروبی

پپتیدهای ضد میکروبی بخشی از سیستم ایمنی ذاتی ماهیان هستند و نقش مهمی در مقابله با عوامل بیماری‌زا دارند. *Piscidin* یکی از مهم‌ترین پپتیدهای ضد میکروبی در تیلاپیا است که خاصیت ضدباکتریایی و ضدویروسی دارد [۱۴]. مطالعات نشان داده‌اند که این پپتیدها می‌توانند از طریق تخریب غشای میکروبی و تحریک پاسخ ایمنی موجب کاهش بیماری‌ها شوند. استفاده از این ترکیبات می‌تواند جایگزین مناسبی برای آنتی‌بیوتیک‌ها در آینده باشد [۴].

## مدیریت تغذیه و کیفیت آب

تغذیه مناسب نقش کلیدی در عملکرد سیستم ایمنی ماهیان دارد. کمبود مواد مغذی مانند ویتامین C، ویتامین E، سلنیوم و اسیدهای چرب ضروری می‌تواند پاسخ ایمنی را تضعیف کند. استفاده از جیره‌های متعادل و غنی از مواد آنتی‌اکسیدانی موجب افزایش مقاومت ماهیان در برابر استرس و بیماری‌ها می‌شود [۱۵]. علاوه بر تغذیه، کیفیت آب نیز تأثیر مستقیمی بر سلامت تیلاپیا دارد. افزایش آمونیاک، کاهش اکسیژن محلول و نوسانات دما می‌تواند موجب سرکوب سیستم ایمنی و افزایش بروز بیماری‌ها شود. بنابراین، مدیریت مناسب شرایط محیطی برای حفظ سلامت ماهیان ضروری است. برخی از مطالعات اخیر در رابطه با راهکارهای مورد استفاده در تقویت سیستم ایمنی تیلاپیا در جدول ۱ ارائه شده است.



جدول ۱- مطالعات اخیر مرتبط با تقویت سیستم ایمنی تیلاپیا

| ردیف | راهکار تقویت ایمنی      | نوع ترکیب یا محرک                 | مهم ترین اثرات ایمنی             | نتایج گزارش شده                            | منبع |
|------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|------|
| ۱    | پروبیوتیک ها            | Lactobacillus spp., Bacillus spp. | افزایش فعالیت فاگوسیتی و لیزوزیم | بهبود مقاومت در برابر بیماری های باکتریایی | [۵]  |
| ۲    | پری بیوتیک ها           | مانان الیگوساکارید و بتاگلوکان    | تحریک ایمنی ذاتی                 | افزایش بقا و بهبود سلامت روده              | [۵]  |
| ۳    | سین بیوتیک ها           | ترکیب پروبیوتیک و پری بیوتیک      | تقویت پاسخ ایمنی و رشد           | کاهش استرس و افزایش مقاومت                 | [۵]  |
| ۴    | گیاهان دارویی           | Aegle marmelos عصاره              | افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی      | مقاومت بیشتر در برابر                      | [۷]  |
| ۵    | مکمل های گیاهی          | سیر و زنجبیل                      | تحریک تولید ایمونوگلوبولین       | کاهش تلفات ناشی از بیماری                  | [۲]  |
| ۶    | پپتیدهای ضد میکروبی     | Piscidin 4 (TP4)                  | تخریب عوامل بیماری زا            | تقویت ایمنی ذاتی و ضد ویروسی               | [۱۴] |
| ۷    | واکسن های غیر فعال      | TiLV واکسن                        | تحریک ایمنی اختصاصی              | افزایش سطح آنتی بادی و بقا                 | [۸]  |
| ۸    | نانو واکسن ها           | واکسن نانو غوطه وری               | افزایش انتقال آنتی ژن            | تحریک قوی پاسخ هومورال                     | [۱۱] |
| ۹    | واکسن های نو ترکیب      | واکسن چند اپی توپی                | افزایش پاسخ ایمنی اختصاصی        | محافظت نسبی علیه                           | [۱۲] |
| ۱۰   | بهبود تغذیه             | E و C ویتامین سلنیوم              | تقویت سیستم آنتی اکسیدانی        | کاهش استرس اکسیداتیو                       | [۱۵] |
| ۱۱   | مدیریت کیفیت آب         | کنترل آمونیاک و اکسیژن            | کاهش استرس محیطی                 | بهبود عملکرد سیستم ایمنی                   | [۲]  |
| ۱۲   | مدیریت میکروبیوتای روده | بهبود فلور میکروبی                | افزایش مقاومت طبیعی              | تعادل میکروبی و کاهش بیماری                | [۶]  |

#### چالش های ایمنی زایی در پرورش تیلاپیا

با وجود پیشرفت قابل توجه در استفاده از محرک های ایمنی، افزودنی های گیاهی و واکسن ها در پرورش ماهی تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*)، کاربرد گسترده این راهکارها همچنان با چالش های اقتصادی و مدیریتی همراه است. بسیاری از ترکیبات عملکردی و محرک های ایمنی نوین، اگرچه موجب بهبود رشد، سلامت روده و افزایش پاسخ ایمنی می شوند، اما





استفاده مداوم از آن‌ها می‌تواند هزینه تولید خوراک و مدیریت مزرعه را افزایش دهد [۱۶]. علاوه بر این، پاسخ سیستم ایمنی تیلاپیا به افزودنی‌های تغذیه‌ای تحت تأثیر شرایط محیطی و تنش‌های پرورشی مانند تراکم بالا، کیفیت نامناسب آب و تجمع آمونیاک قرار دارد و در برخی شرایط، اثربخشی این ترکیبات کاهش می‌یابد [۱۷]. از سوی دیگر، اگرچه توسعه واکسن‌های نوین علیه عوامل باکتریایی نتایج امیدوارکننده‌ای نشان داده است، اما هزینه تولید، دشواری واکسیناسیون انبوه و محدودیت‌های اجرایی در مزارع تجاری، استفاده گسترده از واکسن‌ها را با چالش مواجه کرده است [۱۸]. بنابراین، موفقیت راهکارهای تقویت ایمنی در تیلاپیا نیازمند مدیریت تلفیقی تغذیه، شرایط محیطی و برنامه‌های بهداشتی مناسب است.

### نتیجه‌گیری

با گسترش صنعت آبزی‌پروری و افزایش تراکم پرورش تیلاپیا، بیماری‌های عفونی به یکی از مهم‌ترین چالش‌های این صنعت تبدیل شده‌اند. تقویت سیستم ایمنی ماهی تیلاپیا می‌تواند راهکاری مؤثر و پایدار برای کاهش تلفات، افزایش مقاومت در برابر بیماری‌ها و کاهش مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها باشد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از پروبیوتیک‌ها، گیاهان دارویی، واکسن‌ها، پپتیدهای ضد میکروبی و مدیریت مناسب تغذیه و کیفیت آب می‌تواند پاسخ‌های ایمنی تیلاپیا را بهبود بخشد. همچنین توسعه فناوری‌های نوین مانند نانو واکسن‌ها و واکسن‌های نو ترکیب چشم‌انداز مناسبی برای کنترل بیماری‌های آبزیان فراهم کرده است. در مجموع، استفاده تلفیقی از روش‌های مدیریتی، تغذیه‌ای و ایمنی‌زایی می‌تواند موجب توسعه پایدار و افزایش بهره‌وری در پرورش تیلاپیا شود.

### مراجع

1. FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*. FAO.
2. El-Sayed, A.M. (2020). *Tilapia Culture*. CABI Publishing.
3. Surachetpong W, Roy SRK, Nicholson P. (2020). *Tilapia lake virus: the story so far*. Journal of Fish Diseases.
4. Raju SV, Sarkar P, Kumar P, Arockiaraj J. (2021). *Piscidin, fish antimicrobial peptide*. International Journal of Peptide Research and Therapeutics.
5. Wang B, Thompson KD, Wangkahart E, et al. (2022). *Strategies to enhance tilapia immunity to improve their health in aquaculture*. Reviews in Aquaculture.
6. Bereded NK, Abebe GB, Fanta SW, et al. (2021). *The impact of sampling season and catching site on gut microbiota composition and diversity of Nile tilapia*. Biology.
7. Wangkahart E, Wachiraamonloed S, Lee PT, et al. (2022). *Impacts of Aegle marmelos fruit extract on immune responses and disease resistance in Nile tilapia*. Fish & Shellfish Immunology.
8. Mai TT, Kayansamruaj P, Taengphu S, et al. (2021). *Efficacy of heat-killed and formalin-killed vaccines against Tilapia tilapinevirus*. Journal of Fish Diseases.
9. Tattiyapong P, Dechavichitlead W, Waltzek TB, Surachetpong W. (2020). *Tilapia develop protective immunity following exposure to tilapia lake virus*. Fish & Shellfish Immunology.
10. Tang KFJ, Bondad-Reantaso MG, Surachetpong W, et al. (2021). *Tilapia Lake Virus Disease Strategy Manual*. FAO.



11. Kitiyodom S, Yata T, Thompson KD, et al. (2021). *Immersion vaccination by a biomimetic-mucoadhesive nanovaccine induces humoral immune response*. Vaccine.
12. Machimbirike VI, Pornputtapong N, Senapin S, et al. (2022). *A multi-epitope chimeric protein elicited a strong antibody response in Nile tilapia*. Journal of Fish Diseases.
13. Hai LD, Chockmangmeepisan P, Sakulworakan R, et al. (2020). *Virulence properties and pathogenicity of Flavobacterium columnare in hybrid red tilapia*. Thai Journal of Veterinary Medicine.
14. Hazam P, Chen JY. (2020). *Therapeutic utility of the antimicrobial peptide tilapia Piscidin 4 (TP4)*. Aquaculture Reports.
15. Bhujel RC, Yakupitiyage A, Little DC, Turner WA. (2021). *Selection of a commercial feed for Nile tilapia broodfish breeding*. Aquaculture.
16. Mabrouk GM, et al. (2025). *A Blend of natural phytobiotics enhances growth performance, feed efficiency, and the immuno-health status of fingerlings of Nile tilapia (Oreochromis niloticus)*. Open Veterinary Journal, 15(2):746–764. DOI: 10.5455/OVJ.2025.v15.i2.24.
17. Elsisy DM, et al. (2025). *Dietary Yucca schidigera and Bacillus subtilis enhance growth and immunity while reducing ammonia discharge in Nile tilapia*. Fish Physiology and Biochemistry. DOI: 10.1007/s10695-025-01607-7
18. Abd-Elrasoul O, et al. (2025). *Protective efficacy and immune response to adjuvanted Pseudomonas putida ghost vaccine in Nile tilapia*. Fish & Shellfish Immunology, 166:110648. DOI: 10.1016/j.fsi.2025.110648.