مجلهٔ ترویجی بوم‌شناسی منابع آبی
دورهٔ ۵، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۰
ISSN- 2821-1111

کاربرد بیوفلاک و فیتوبیوتیک در آبزی‌پروری

رضا نهاوندی [۱]، سعید تمدنی جهرمی*[۲]، علی صادقی [۳]، ابراهیم مسعودی [۳]، سیامک بهزادی [۲]، محسن گذری [۲]، سجاد پورمظفر [۴]، مریم معزی [۲]

۱- مؤسسهٔ تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- پژوهشکدهٔ اکولوژی خلیج‌فارس و دریای عمان، مؤسسهٔ تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران.
۳- گروه شیلات، دانشکدهٔ شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۴- ایستگاه تحقیقات نرم‌تنان خلیج‌فارس، پژوهشکدهٔ اکولوژی خلیج‌فارس و دریای عمان، مؤسسهٔ تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرلنگه، ایران.

*نویسنده مسئول: Stamadoni@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۵/۲۹

چکیده

بیوفلاک سیستمی کارآمد و مؤثر در جایگزینی مواد مغذی است که این مواد به‌طور پیوسته بازیافت و تصفیه می‌شود. این سیستم بر پایه رشد موجودات ریز در محیط پرورش استوار است و باعث کاهش و یا صفر شدن تعویض آب در سیستم‌های آبزی‌پروری می‌گردد. سیستم آبزی‌پروری مبتنی بر بیوفلاک در چند سال گذشته بیشترین رشد و توسعه را داشته‌اند، چراکه این سیستم می‌تواند با حفظ شرایط امنیت زیستی، بیشترین بی‌خطری زیست‌محیطی و حتی تولید پایدار را در آبزی‌پروری داشته باشد. بیوفلاک باعث افزایش کیفیت آب از طریق اضافه کردن منبع کربنی، حذف مواد نیتروژنی سمی همچون آمونیاک و نیتریت و باعث بهبود استفاده از غذا و افزایش کارایی رشد در سیستم‌های آبزی‌پروری می‌شود. فیتوبیوتیک‌ها مشتقات گیاهی

هستند که ترکیبات طبیعی آن‌ها به جیره غذایی آبزیان اضافه‌شده و یکی از راه‌های طبیعی برای مقابله با عوامل بیماری‌زا در آبزیان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیوفلاک، آبزی‌پروری، موجودات ریز، فیتوبیوتیک

مقدمه

در سیستم‌های آبزی‌پروری شدت تغذیه با کاهش تبادلات آبی و ورودی بالای مواد غذایی، جهت استقرار جوامع متراکم میکروبی حمایت می‌شوند. ماهی و سخت‌پوستان تنها از یک بخش محدود نیتروژن و کربن برای رشد و سوخت‌وساز بدن خود استفاده می‌کنند. میزان برآورد متوسط کربن آلی، نیتروژن و فسفر جذب‌شده توسط میگو و ماهی به ترتیب در حدود ۱۳، ۲۹ و ۱۶ درصد از محتوای غذایشان بود (Ray *et al*, 2010). در ادامه روند سوخت‌وساز بدن آن‌ها به‌عنوان مادهٔ دفعی خارج می‌شود. در برخی از سیستم‌های مداربسته و گردشی در آبزی‌پروری، شکل‌گیری یک جامعهٔ میکروبی در بسترهای مصنوعی در خارج از منطقهٔ پرورشی جاندار صورت می‌گیرد. به‌عنوان‌مثال، فیلترهای در حد تجاری ساخته می‌شوند. این جامعهٔ میکروبی مسئولیت چرخهٔ مواد مغذی را بر عهده دارد. در چنین سیستم‌هایی ذرات ماده اغلب به‌وسیلهٔ اعمال فیلتراسیون مانند ته‌نشین شدن، دستگاه‌های گرداننده و فیلترهای شن و ماسه حذف می‌شوند. بااین‌حال، در سیستم‌های بیوفلاک به ذرات اجازه داده می‌شود که در سیستم پرورشی و بخشی از جامعه میکروبی، مسئول چرخهٔ مواد مغذی باشند. بسته به شدت ورودی مواد غذایی، جوامع جلبکی در یک سیستم بدون تبادل آب و با رشد لگاریتمی درنهایت به محدودیت نوری می‌رسند. در طی این مدت، می‌توان برای روزهای آخر پرورش ماهی تیلاپیا و تا ده هفته در سیستم‌های پرورش میگو بسته به ورودی غذا، عملکرد تولید را مدیریت کرد که تا حد زیادی به ترکیبات جلبکی، PH و نوسانات اکسیژن بستگی دارد. با مخلوط کردن جلبک‌های هوازی، باکتری‌ها، زئوپلانکتون‌ها، ذرات غذایی و مواد دفعی باقی‌مانده به حالت معلق در ستون آب می‌توان سیستم‌های پرورشی بیوفلاک را تشکیل داد (Adineh *et al*, 2019). جوامع بیوفلاک می‌توانند پروفایل‌های اسید چرب را به‌صورت منحصربه‌فردی به غذای موجود در سیستم پرورشی تجویز کنند. این امر نشان می‌دهد که جوامع میکروبی مسئول برخی تغییرات بیوشیمیایی هستند. بیوفلاک‌ها نشان‌دهنده یک اکوسیستم جالب هستند. آب دارای فرایند میکروبیولوژیکی است که منابع زیست‌محیطی را با داشتن چند ماده مغذی و در دسترس محدود می‌کند. بیوفلاک‌ها سرشار از مواد ریز زیست‌محیطی هستند که به‌عنوان تأمین مواد غذایی در آب‌های فقیر تعبیه‌شده‌اند. این تراکم مواد مغذی موجب جذب موجودات زنده‌ای مانند، تک‌یاخته‌ای‌ها، نماتدها، مژه‌داران در محیط بیوفلاک شده است. بیوفلاک با پوشش پلی‌ساکاریدهای خارجی، موجودات ریز و مواد دتریتوس را جهت افزودن به ارزش غذایی جذب می‌کند. بیوفلاک‌ها همچنین بستر موردنیاز باکتری‌ها را تأمین می‌کند که بتوانند از شکارچیان فرار کنند (Adineh *et al*, 2019). سیستم‌های بیوفلاک حاوی باکتری‌ها، جلبک‌ها، زئوپلانکتون‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها هستند. هر گروه از گونه‌ها ممکن است تأثیرات مثبتی داشته باشند و یا بتوانند پیامدهای منفی برای پرورش ماهی و میگو ایجاد کنند. برخی از باکتری‌ها ازجمله چندگونه متعلق به جنس ویبریو به‌عنوان عامل بیماری‌زا برای میگو و ماهی تلقی می‌شوند و ممکن است آبزی‌پروری را دچار مشکل نمایند. باکتری‌های دیگر در سیستم بیوفلاک بسیار سودمند هستند. باکتری‌های نیتریفیکانت یا شوره‌ساز درنهایت موجب تبدیل آمونیاک سمی به ترکیبات نیترات غیر سمی می‌شوند. اشکال مختلفی از ریز جلبک‌ها و ماکروجلبک‌ها در سیستم بیوفلاک مشاهده می‌شود. اشکال مختلفی از ریزجلبک‌ها و ماکروجلبک‌ها در سیستم بیوفلاک مشاهده می‌شود. ماکروجلبک‌ها می‌توانند در نزدیکی سطح آب رشد کنند اما به‌سرعت توسط میگو یا ماهی مصرف می‌شوند. کلروفیت‌های کوچک (از جلبک‌های سبز) مانند گونه نانوکلروسیس (Nanochlorosis) غالباً در بیوفلاک متمرکز هستند. دیاتومه‌ها دارای سطوح نسبتاً بالایی از اسیدهای چرب ضروری مانند ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) و دوکوزاهگزانوییک اسید (DHA) هستند و تأمین‌کنندهٔ بالقوهٔ تغذیه‌ای برای جانوران پرورشی محسوب می‌شوند (Ray *et al*, 2010). دیاتومه‌ها در هر دو محیط داخلی و خارجی از ذرات بیوفلاک یافت می‌شوند و در بهبود رشد میگوها دخالت دارند (Azim and Little, 2008).

بسیاری از سیانوباکتری‌ها در سیستم‌های بیوفلاک از گونهٔ سینکوکوس (Synechococcus) هستند که اندازه‌ای در حدود پیکومتر دارند (کوچک‌تر از ۲ میکرومتر). از بین بردن بخشی از بیوفلاک ممکن است نفوذ نور را افزایش دهد و منجر به کاهش فراوانی سیانوباکتری‌ها شود که این امر برای مقابله با سیانوباکتری‌ها و به سود جلبک‌ها خواهد بود (Adineh *et al*, 2019). زئوپلانکتون‌ها در سیستم‌های بیوفلاک، یک مجموعهٔ مهم هستند. آن‌ها باکتری‌ها، جلبک‌ها و حتی ممکن است میگوها و ماهیان را نیز مصرف کنند. زئوپلانکتون‌های متنوعی در سیستم‌های بیوفلاک یافت می‌شوند که در سیستم بیوفلاک از موجودات شناور مانند مژه‌داران و تاژک‌داران کوچک تغذیه می‌کنند. روتیفرها و نماتدها نیز معمولاً در بیوفلاک مشاهده می‌شوند که به‌صورت مواد انبوه‌شده مصرف می‌شوند. اندازهٔ ذرات بیوفلاک ممکن است برای تغذیهٔ جانوران مهم باشد. ذرات بزرگ‌تر بیشتر برای ماهیان و میگوهای بالغ قابل‌دسترس هستند و بیشتر بیوفلاک‌ها به‌راحتی در طیف وسیعی از اندازه‌ها تا چند میلی‌متر قابل‌مشاهده هستند. اگرچه ذرات بیوفلاک برای ماهی و میگو سودمند هستند اما در اکثر سیستم‌های متراکم می‌توان اقدام به ساختن سطوح بسیار بالا کرد. با توجه به ورودی غذای متراکم، به میزان بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند به‌صورت غیرقابل‌کنترل شوند. افزایش بیش‌ازحد بیوفلاک ممکن است نیاز به اکسیژن و استفاده از هواده را تا میزانی که جانوران پرورشی را از استرس دور کند افزایش دهد. فراوانی بیش‌ازحد این ذرات ممکن است منجر به گرفتگی آبشش‌ها و درنتیجه موجب جلوگیری از تبادل گازهای تنفسی برای گونه‌های پرورشی شود. داشتن بیش‌ازحد ذرات در ستون آب می‌تواند موجب افزایش جلبک‌های مضر و کاهش فراوانی گونه‌های پرورشی گردد (Ray *et al*, 2010). مدیریت غلظت بیوفلاک ممکن است سن جوامع میکروبی را کاهش دهد و موجب افزایش جمعیت جوان‌ترها و مواد مغذی شود.

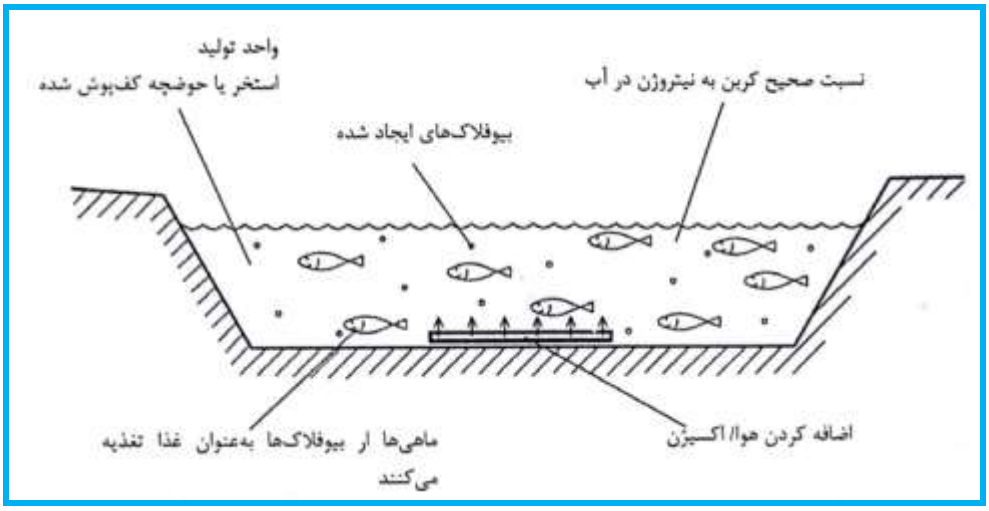
۱- آبزی‌پروری مبتنی بر سیستم بیوفلاک

سیستم آبزی‌پروری مبتنی بر بیوفلاک در چند سال گذشته بیشترین رشد و توسعه را داشته‌اند؛ چراکه این سیستم می‌تواند با حفظ شرایط امنیت زیستی، بیشترین بی‌خطری زیست‌محیطی و حتی تولید پایدار را در آبزی‌پروری داشته باشد. تیلاپیا و میگو برای استفاده از تولیدات طبیعی در سیستم آبزی‌پروری مناسب هستند. هر صنایع تجاری، به‌سرعت در سراسر جهان در حال گسترش هستند. فن‌آوری بیوفلاک را می‌توان در استخرهای خاکی، تانک‌ها و استخرهای آبراهه‌ای با اندازه‌های متنوع استفاده کرد. در روش متراکم، تولید میگو از طریق بیوفلاک در استخرهای خاکی از ۵۰۰ تا ۲۰ هزار مترمربع و با تولید فصلی ۱۰ تا ۲۰ تن در هکتار انجام می‌شود (۱ تا ۲ کیلوگرم در مترمربع). این سیستم به‌آرامی در حال غالب شدن و به‌سرعت در حال گسترش هستند. تولید تیلاپیا با استفاده از سیستم بیوفلاک نسبت به تولید میگو در استخرهای متراکم بسیار بیشتر است و به حدود ۱۰ تا ۳۰ کیلوگرم در مترمکعب می‌رسد. سطح تولید در سیستم بیوفلاک می‌تواند نزدیک به ۱۰ کیلوگرم در مترمربع برسد (Adineh *et al*, 2019). درواقع مفهوم سیستم بیوفلاک، پرورش جامعهٔ میکروبی در واحد تولیدی است. این جامعهٔ میکروبی خدمات مهم اکوسیستمی ازجمله چرخهٔ مواد دفعی و تأمین مواد غذایی را به‌عنوان محصول نهایی فراهم می‌کند. ورودی‌های خارجی شامل غذا و بسیاری از ترکیبات کربن و یا بی‌کربنات هستند که برای حمایت و رشد محصول نهایی و پاسخگویی به نیازهای جامعهٔ میکروبی مورداستفاده قرار می‌گیرند. ورودی نیز شامل انرژی برای هوادهی و یا اکسیژن‌دهی و مخلوط کردن برای حفظ شرایط جامعهٔ میکروب‌های هوازی معلق می‌باشد. از طریق مدیریت مناسب در ورودی‌های سیستم می‌توان تراکم محصول هدف و یا اکسیداسیون مواد آلی در بین محصولات، به تعادل رسیدن رشد و درنتیجه به حداکثر رساندن خدمات اکوسیستم را در واحد تولیدی بهبود داد. این امر می‌تواند بهبود مؤثر هزینه‌ها، شرایط تولید پایدار و به‌طورکلی پایداری تولید را در محیط‌زیست به دنبال داشته باشد. با توجه به محدودیت منابع آب و رشد جمعیت جهانی، مشکلات مربوط به تخلیهٔ پساب آب شیرین و آب لب‌شور در آبزی‌پروری، نگرانی‌های زیادی به وجود می‌آورد (Rather *et al*, 2011). یکی از این پیامدهای منفی، افزایش غلظت عوامل بیماری‌زاست. استفاده از آب کم، روش‌های پرورش متراکم میگو و تیلاپیا چندین مزیت برای کشاورزان به همراه دارد:

۱- هزینه‌ها کاهش می‌یابد؛ یکی از آن‌ها هزینه‌های مربوط به هوادهی است که با تبادل بیشتر آب‌وهوا صورت می‌گیرد و همچنین استفاده از غذاهای طبیعی که موجب افزایش بهره‌وری شده و هزینه‌های غذا را می‌کاهد. تشدید کاهش مصرف آب نیز می‌تواند هزینه‌های زمین و آب را به حداقل برساند.

۲- ازجمله عملکردهای پایدار در شرایط زیست‌محیطی هستند چراکه موجب کاهش پساب خروجی می‌شوند و درنتیجه با کاهش ضررهای زیست‌محیطی موجب افزایش تولید درازای هر کیلوگرم محصول می‌شوند.

۳- شرایط بهداشتی، امنیت زیستی و کنترل عوامل بیماری‌زا افزایش پیدا می‌کند. برخی عوامل بیماری‌زای متنوع در جوامع میکروبی، بسیار خطرناک هستند. افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای ماهیان تیلاپیا و میگوهای با کیفیت، افزایش فشار تولید، کاهش هزینه‌های تولید و تلاش برای حل مسائل زیست‌محیطی، موجب علاقه‌مندی زیاد به فن‌آوری استفاده از سیستم بیوفلاک شده است.



شکل ۱. مبانی یک سامانه بیوفلاک

۲- فعالیت‌های اکسیژنی

اکسیژن محلول همیشه یکی از مهم‌ترین عوامل کیفیت آب در پرورش موجودات آبزی تلقی می‌شود. پرورش موجودات در سیستم‌های بیوفلاک مستلزم توجه دقیق به‌ویژه تأمین اکسیژن می‌باشند (شکل ۱). علاوه بر این، نیازهای مصرف اکسیژن در پرورش میگو و ماهی و جوامع میکروبی بسیار قابل‌توجه است. شدت مصرف اکسیژن به‌وسیلهٔ جوامع میکروبی تا حد زیادی تابع مقدار ورودی مواد غذایی و تراکم موجودات می‌باشد (Adineh *et al*, 2019). در پرورش تیلاپیا، مقدار اکسیژن موردنیاز ماهیان از جوامع میکروبی بالاتر است چون تودهٔ زندهٔ ماهیان ۱۰ تا ۳۰ کیلوگرم در مترمکعب است (Azim and Little, 2008). معادلهٔ ساده برای اکسیژن موردنیاز موجودات پرورشی در تنفس هوازی به‌صورت زیر است:

$$C6H12O6 + 6O2 \text{--------} 6\ CO2 + 6H2O + energy$$

بیوفلاک درواقع شامل میکروب‌های فتواتوتروفیک، شیمیواتوتروفیک و هتروتروفیک می‌باشد. هرکدام از این موجودات بسته به میزان بار آلی در ورودی مواد غذایی، ورودی کربن آلی، حذف یا برداشت ذرات از سیستم بیوفلاک فعالیت می‌کنند. در تراکم پایین ورود اندک مواد غذایی کافی خواهد بود. این بدان معنی است که غذاهای اندک نسبتاً کمتر خورده می‌شوند و متعاقب آن مدفوع کمتری به شکل جامد در دسترس میکروب‌های موجود در سیستم بیوفلاک خواهد بود. یک مزیت بزرگ در

سیستم‌های بیوفلاک، بهره‌وری از مواد غذایی مضر توسط میکروب‌ها می‌باشد که آن‌ها را برای گونه‌های هدف قابل‌استفاده می‌کنند. این شرایط تراکم بالا به‌طور بالقوه موجب نتایج اقتصادی مطلوب می‌شود. بااین‌حال با افزایش تراکم و مقدار غذای اضافه‌شده بیشتر شده و تقاضا برای مصرف اکسیژن محلول توسط میکروب‌ها نیز بیشتر می‌گردد. در اغلب استخرهای پرورش میگو و تیلاپیا عمل هوادهی را می‌توان به‌وسیلهٔ چرخهٔ پارویی برای ترکیب کردن هوا و آب استفاده کرد. میزان هوادهی می‌تواند به‌طورکلی بر اساس تراکم و یا مقدار غذای ورودی برآورد شود. تخمین زده می‌شود که این مقدار ظرفیت هوادهی می‌تواند در حدود ۳۷۵ کیلوگرم برای هر اسب بخار باشد.

۳- درجهٔ حرارت

اثر درجهٔ حرارت بر روی سیستم‌های مبتنی بر بیوفلاک شبیه به واحدهای پرورشی سنتی است. بزرگ‌ترین اثر دما در ارتباط با نرخ رشد است. در هر سیستم آبزی‌پروری، دما با عملکرد رشد مرتبط است. این در حالی است که همهٔ گونه‌های پرورشی خونسرد باشند. این محدودیت‌های فصلی رشد در برخی از مناطق بر تعداد و طول چرخهٔ زندگی در میگو و توانایی زمستان‌گذرانی ماهیان تیلاپیا مؤثر است. در مناطق گرمسیری با دمای بالا در طول سال، درجهٔ حرارت در سیستم بیوفلاک شبیه به دیگر سیستم‌های سنتی می‌باشد. به‌هرحال با حرکت به مناطق معتدل تبادلات آب به‌طور قابل‌توجهی می‌تواند بر درجهٔ حرارت تأثیر بگذارد؛ بنابراین توانایی پرورش بدون تبادل آب موجب ثبات حرارتی می‌گردد. در پرورش میگو یکی از بیماری‌های ویروسی خطرناک، سندروم ویروسی نقطه سفید است که شیوع آن تا حد زیادی به دما بستگی دارد (Ray *et al*., 2010). پس از شناسایی این بیماری، راه‌کارهای مدیریت آن در مزارع پرورشی، حفظ درجهٔ حرارت در دمای ۲۹ درجهٔ سانتی‌گراد و بالاتر بود. این راه‌کار ضرورتاً به اجتناب از تبادل آب و شرایط تولید در گلخانه نیاز دارد. استفاده از فن‌آوری‌های بیوفلاک به پرورش‌دهنده این اجازه را می‌دهد که برای حفظ دمای استخرها از تبادل آب خودداری کنند.

۴- اثرات بیوفلاک در آبزی‌پروری

این فناوری روشی است که باعث افزایش کیفیت آب از طریق اضافه کردن منبع کربنی در سیستم‌های آبزی‌پروری، حذف مواد نیتروژنی سمی همچون آمونیاک و نیتریت، بهبود استفاده از غذا و افزایش کارایی رشد و همچنین باعث تحریک ترشح آنزیم‌های گوارشی شده که این عمل باعث افزایش هضم می‌گردد (در پرورش میگو در سیستم‌های بیوفلاک مصرف غذا ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. در میگوی وانامی حدود ۲۹ درصد از غذای مصرفی در طول روز از بیوفلاک تغذیه می‌شود. در تیلاپیا هم مصرف غذا حدود ۲۰ درصد کمتر از سیستم‌های تعویض آب است. کارایی مصرف پروتئین توسط تیلاپیا و میگو تقریباً در سیستم بیوفلاک ۲ برابر می‌شود). اثرات بیوفلاک نیز باعث افزایش مدیریت بهداشتی، باعث به صفر رساندن و یا حداقل تعویض آب در استخرها می‌شود. بیوفلاک منابع نیتروژن و کربن را مصرف و تولید بیوماس میکروبی می‌کنند و پروتئین محصول جانبی تولید باکتری‌ها می‌باشد (Azim and Little, 2008). ذرات به هم چسبیدهٔ بیوفلاک منبع طبیعی چربی و پروتئین قابل‌دسترس در محیط هستند. بیوفلاک‌ها ترکیبی از باکتری‌های هتروتروفی، فیتوپلانکتون‌ها، روتیفر، مژه‌داران، کپه‌پودا و دیاتومه‌ها هستند.

۵- فرایند تولید بیوفلاک میکروبی

در سیستم‌های پرورش آبزیان مشکل اصلی عامل آمونیاک و نیترات است که هر دو برای ماهی و میگو سمی است. یک‌راه حل برای این مشکل استفاده از بیوفیلتر در سیستم مداربسته است که دو مشکل اساسی دارد: گران‌قیمت بودن در ساخت و

نگهداری آن و همچنین اینکه بیوفیلترها در سیستم مداربسته، آب را دوباره احیا می‌کنند ولی باقیماندهٔ غذا را دوباره بازیافت نمی‌کنند. غذا هرروز گران‌تر می‌شود و بازیافت آن ضروری به نظر می‌رسد. فناوری بیوفلاک بر اساس فعالیت میکروبی درون استخرها استوار است (شکل ۲). مراقبت کردن آب در خود استخر اتفاق می‌افتد و نیاز به فضاها و ساختارهای جداگانه نیست. وقتی‌که تعویض آب محدود باشد جوامع متراکم باکتریایی رشد و نمو می‌کنند (حدود $۱۰^{۷}$ تا $۱۰^{۹}$ سلول باکتریایی در هر یک سانتی‌متر مکعب از آب استخر). اگر مواد کربن‌دار مثل ملاس، نشاسته و غیره به استخر اضافه کنیم تا نسبت C/N را روی ۱۵ تا ۲۰ تنظیم کنیم میکروب‌ها آمونیاک را از آب می‌گیرند و پروتئین میکروبی تولید می‌کنند. با تنظیم نسبت C/N مشکل آمونیاک به‌صورت دائمی و به‌راحتی حل می‌شود. در آبزی‌پروری متداول فقط حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از پروتئین غذا در پیکرهٔ ماهی و میگو نگه‌داشته می‌شود و بقیه وارد آب می‌شود که اکثراً آمونیوم است. در سیستم بیوفلاک آمونیوم به پروتئین میکروبی تبدیل می‌شود (بسته به‌اضافه کردن کربوهیدرات) که می‌توان به‌عنوان منبع پروتئین از آن استفاده کرد. موجودات ریز در آب استخر تمایل به جمع شدن و تشکیل بیوفلاک دارند که می‌توانند توسط تیلاپیا و میگو مصرف شوند. تحقیقات نشان داده که بیش از ۲۰ درصد پروتئین خورده‌شده توسط میگو و تیلاپیای پرورش‌یافته در استخرهای با فناوری بیوفلاک از پروتئین‌های باکتریایی است. هم بازیافت پروتئین و هم کنترل کیفیت آب از طریق اضافه کردن مواد کربن‌دار و تنظیم میزان C/N قابل‌دسترس است. در سیستم بیوفلاک پرورش توأم باکتری و جلبک‌ها را در فلاک‌ها داریم و به این طریق سیستم را کنترل می‌کنیم. باکتری‌های هتروتروفیک کربن آلی مصرف می‌کنند؛ یک گرم کربوهیدرات، ۰/۴ گرم باکتری تولید می‌کند. بعد از ۵ ساعت از اضافه کردن گلوکز به‌عنوان منبع کربن و رساندن C/N به غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر آمونیوم به‌طور کامل حذف می‌شود. حذف نیتروژن از آب در سیستم پرورشی با تنظیم کربن ورودی می‌تواند تنظیم شود. وقتی بیوفلاک‌ها را در زوک‌های مخصوص ته‌نشین می‌کنیم باکتری‌های رشته‌ای از آن جدا می‌شود و بیوفلاک ته‌نشین‌شده آماده است که به سیستمی با آب پر از منابع کربن معرفی شود. با بازیافت مداوم و تکرار ته‌نشین‌سازی می‌توانیم موجوداتی که در بیوفلاک زندگی می‌کنند را کنترل کنیم (Adineh *et al*, 2019).

کل ۲. تولید بیوفلاک میکروبی

۶- استفاده از بیوفلاک میکروبی به‌عنوان غذا

بیوفلاک‌ها میزان مناسب و کافی پروتئین، چربی، کربوهیدرات و مواد معدنی را به‌عنوان غذا برای استفاده در آبزی‌پروری دارند. اندازه‌گیری ویتامین‌ها در بیوفلاک انجام شد که محدوده‌ای حدود ۵۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود. این مقدار کمتر از نیاز

ماهی و میگو است. استفاده از بیوفلاک میکروبی به‌عنوان غذا به نوع گونهٔ پرورشی، روش تغذیه، اندازهٔ آبزی، اندازه و تراکم بیوفلاک بستگی دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که بیوفلاک میکروبی برای میگوهای روزنبرگی و وانامی و گونه‌های تیلاپیا مناسب است. کارایی بهتر آن در تغذیهٔ آبزیان تحت تأثیر نوع منبع کربنی است. هر نوع از منبع کربن گونهٔ خاصی از پروتوزوآ و جلبک‌ها را تحریک می‌کند و همچنین ترکیب باکتریایی بیوفلاک را تنظیم می‌کند که ارزش غذایی متفاوتی دارند و همچنین منابع کربنی قابلیت هضم و خوش‌خوراکی آبزی پرورشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rather *et al*, 2011). Anand و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند که استفاده از بیوفلاک در رژیم غذایی میگوی ببری به میزان ۴ درصد می‌تواند منجر به بهبود رشد و ترشح آنزیم‌های گوارشی شود. Schveitzer و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی میزان ذرات جامد معلق (TSS) در بیوفلاک به‌منظور پرورش میگوی وانامی پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بهترین رشد این میگو در TSS حدود ۶۰۰-۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده‌شده است.

۷- استفاده از بیوفلاک میکروبی به‌عنوان کنترل‌کنندهٔ زیستی

فناوری بیوفلاک راهی برای مبارزه با باکتری‌های بیماری‌زا در آبزی‌پروری است. سیستم پرورش متراکم سخت‌پوستان یکی از روش‌های با سرعت رشد بالا در آبزی‌پروری است که بر همین اساس این سیستم‌ها در معرض شیوع خطرناک بیماری‌های واگیردار هستند که باعث خسارت‌های بزرگ مالی می‌شوند. بر اساس مصرف نادرست از آنتی‌بیوتیک‌ها در آبزی‌پروری باکتری‌های بیماری‌زا نسبت به طیف عظیمی از آنتی‌بیوتیک‌ها مقاوم شده‌اند و این یعنی استفاده از آنتی‌بیوتیک در درمان بیماری‌های باکتریایی دیگر مفید نیست. هدف این است که گونه‌های باسیلوس را وارد ترکیب بیوفلاک کنیم چون کارایی این باکتری‌ها به‌عنوان پروبیوتیک در آبزیان و به‌خصوص در میگو شناخته‌شده است. همچنین نشان داده شده تانک‌های پرورش میگو که با بیوفلاک حاوی باسیلوس پرورش داده‌شده‌اند نسبت به آن‌هایی که با غذای صنعتی تغذیه شده‌اند چند برابر کمتر دارای باکتری ویبریو بوده‌اند. همچنین بیوفلاک شامل ترکیبات محرک سیستم ایمنی می‌باشد. ویژگی‌های مختلف و سودمندی را می‌توان به فناوری بیوفلاک نسبت داد. از بهبود کیفیت آب گرفته تا تولید غذا و چندین ویژگی دیگر. فناوری بیوفلاک روش‌هایی را به آبزی‌پروری پایدار معرفی می‌کند که هم‌زمان محیط‌زیست، مسائل اجتماعی و اقتصادی با رشد آبزی‌پروری را مدنظر قرار می‌دهد. به‌کارگیری و بهبود این روش نیازمند تحقیقات بسیار بیشتری می‌باشد تا این روش به‌عنوان سنگ بنای آبزی‌پروری پایدار در آینده باشد. آبزی‌پروری متراکم باید برای اثرات منفی بر روی محیط‌زیست مثل آلوده کردن آب و یا استفاده از روغن و آرد ماهی چاره‌ای بیندیشد. سیستم بیوفلاک این امکان را می‌دهد که هم کیفیت آب حفظ شود و هم‌غذای اضافی برای آبزیان فراهم شود (Azim and Little, 2008).

۸- کارهای مدیریتی در سیستم‌های بیوفلاک

۸-۱- زمانی که مقدار آمونیاک زیاد باشد بایستی به‌سرعت کربوهیدرات‌ها را افزایش داد و میزان پروتئین غذا کاهش یابد

۸- ۲-زمانی که مقدار نیترات زیاد شود باید مناطق با مقدار اکسیژن کم و محل‌های تجمع رسوبات و جایگاه هواده‌ها موردبررسی قرار گیرد و منبع کربنی به سیستم اضافه شود

۸-۳- زمانی که حجم بیوفلاک کاهش یافت باید منبع کربنی به سیستم اضافه شود

۸-۴- زمانی که حجم بیوفلاک زیاد شد بایستی تعویض آب صورت گیرد

۹- فیتوبیوتیک‌ها

با گسترش و توسعهٔ آبزی‌پروری به‌تدریج مشکلات و چالش‌های ناشی از آن نیز گسترش‌یافته است. برخی از مشکلات، مربوط به گسترش و انتشار بی‌رویهٔ عوامل بیماری‌زاست. به‌عنوان‌مثال آلودگی‌های انگلی، عفونت‌های باکتریایی و بیماری‌های مهلک

ویروسی می‌توانند منجر به بروز تلفات سنگین در این صنعت شوند. روش‌های مختلفی برای مقابله با تهدیدهای ویروسی و باکتریایی استفاده می‌شود. استفاده از ترکیبات شیمیایی یکی از روش‌هایی است که اغلب بکار گرفته می‌شود و در آن از مقادیر زیادی آنتی‌بیوتیک و مواد شیمیایی استفاده می‌شود (Eslamloo *et al*, 2013 ; Adel *et al*, 2014). هزینه‌های آنتی‌بیوتیک مصرفی در جلوگیری و درمان بیماری‌ها و هورمون‌هایی که برای بهبود رشد استفاده می‌شود بسیار بالا است و افزایش مقاومت دارویی در باکتری‌ها، تجمع و بقایای مواد شیمیایی در محیط‌زیست و در بدن آبزیان (ماهی و میگو و سایر سخت‌پوستان و صدف‌ها و نرم‌تنان) منجر به ایجاد مقررات سخت‌گیرانه در جهت محدودیت استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها و مواد شیمیایی در صنعت آبزی‌پروری شده است. به همین دلیل تمایل به جستجوی گزینه‌های جدید افزایش یافته و پژوهش‌های متعددی در زمینهٔ ترکیبات جدید که شامل افزودنی‌های کاربردی است از سوی محققین صورت می‌گیرد (Alishahi *et al*, 2012). یک گروه از این افزودنی‌ها فیتوبیوتیک‌ها است. فیتوبیوتیک‌ها مشتقات گیاهی هستند که ترکیبات طبیعی آن‌ها به جیرهٔ غذایی اضافه‌شده و منجر به افزایش فعالیت جانوران می‌شوند. این اجزاء گیاهی (مانند ترکیبات فنلی و فلاوانوئید) می‌توانند اثرات متعددی روی موجودات داشته باشند. روش‌های متعددی نیز برای عملکرد مفید ترکیبات گیاهی در گونه‌های مختلف مطرح‌شده است. نتایج مطالعات به اثبات رسانده که استفاده از فیتوبیوتیک‌ها در جیرهٔ غذایی ماهی منجر به بهبود سیستم ایمنی طبیعی در برابر گونه‌های مختلف باکتری‌ها (بخصوص آئروموناس هیدروفیلا) در گونه‌های مختلف ماهی می‌شود (Alishahi *et al*, 2012). ترکیبات گیاهی که به جیرهٔ غذایی اضافه می‌شوند گروه بسیار ناهمگونی از افزودنی‌های غذایی است که از برگ، ریشه‌ها، غده‌ها و یا از میوه گیاهان نشاءت گرفته است. آن‌ها به هر دو صورت خام و خشک‌شده و یا به‌صورت عصاره و روغن در دسترس هستند. محتوای مواد فعال ترکیبات گیاهی که به غذا اضافه می‌شوند به‌طور گسترده‌ای متفاوت است و بستگی به موارد مختلفی ازجمله فصل، منشأ جغرافیایی و بخشی از گیاه دارد که از آن استفاده می‌شود (به‌عنوان‌مثال: دانه، برگ، ریشه و غیره).

۱۰- وضعیت فعلی فیتوبیوتیک‌ها در آبزی‌پروری

محصولات گیاهی تا حد گسترده‌ای در آبزی‌پروری استفاده می‌شوند و تحقیقات به‌منظور بررسی مناسب بودن آن‌ها در رژیم غذایی گونه‌های مختلف ماهی در حال انجام است. در مورد برخی از ماهیان گیاهخوار و همه‌چیزخوار امکان جایگزینی کامل غذای ماهی با جیرهٔ حاوی محصولات گیاهی بدون اینکه تأثیری روی رشد آن‌ها داشته باشد وجود دارد؛ اما استفاده از مواد گیاهی در برخی از گونه‌های ماهی می‌تواند موجب اختلالاتی در عملکرد روده شود. اجزای گیاهی مانند لکتین، ساپونین، استروژن گیاهی و تانین که در مواد غذایی ماهیان گوشت‌خوار وجود ندارد ممکن است سبب اختلال در فرایند گوارشی این ماهیان شده و سلامتی آن‌ها را به خطر اندازد (Eslamloo *et al*, 2013). در آبزی‌پروری پایدار یکی از امیدوارکننده‌ترین روش‌های تقویت عملکرد دفاعی، مدیریت بیماری است که از طریق تجویز مواد محرک ایمنی صورت می‌گیرد. پیشرفت‌های اخیر در مطالعهٔ مواد غذایی محرک ایمنی نشان داده است که برخی از مواد غذایی به وضعیت ایمنی ماهی مربوط می‌شود. این امر توجه متخصصین تغذیهٔ ماهی را به تأمین ایمنی ماهی علاوه بر رشد ماهی جلب کرده است. آبزی‌پروری پایدار به تعادل کامل بین شرایط رشد و سلامتی ماهی وابسته است. سیستم ایمنی ماهیان و مهره‌داران عالی به هم شبیه هستند و هر دو شامل دو جزء هستند. جزء اول سیستم دفاعی غیراختصاصی، طبیعی و ذاتی است و از یک سری از اجزاء سلولی و خونی تشکیل شده است و جزء دوم سیستم ایمنی اختصاصی، انطباقی یا اکتسابی است و با پاسخ ایمنی هومورال از طریق تولید آنتی‌بادی و پاسخ ایمنی سلولی که توسط لنفوسیت T مشخص می‌شوند و به‌طور خاص قادر به واکنش با آنتی‌ژن هستند (Eslamloo *et al*, 2013). گذشت قرن‌هاست که نقش مهمی در رژیم غذایی و دارویی ایفا می‌کند و مدت‌زمان طولانی است که به‌عنوان ماده‌ای که دارای خواص ضد باکتریایی است شناخته‌شده است. Salmaniyan و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که استفاده از زنجبیل در غذا منجر به افزایش پارامترهای خونی می‌شود و حتی اگر مقدار آن کم باشد (۰/۵ درصد) توانایی ایمنی ماهی کلمه (*Rutilus rutilus*) افزایش می‌یابد (جدول ۱). مطالعات نشان داد که استفاده از عصارهٔ گیاهان سیر وحشی (*Allium ursinum*) و گل میخک در

غذای ماهی در غلظت مشخص (۲ درصد و ۵ درصد) می‌تواند استرس ایجادشده توسط مسمومیت با نیتریت سدیم را کاهش دهد و همچنین می‌تواند منجر به افزایش تراکم ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان شود. چای سبز بدون کافئین در غلظت پایین (۲۰ میلی‌گرم به ازاء هر کیلوگرم غذا) می‌تواند به‌طور مطلوب باعث افزایش سیستم ایمنی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان شود. فیتوبیوتیک‌ها خواص متنوعی دارند که این خواص عبارت‌اند از اثرات آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد سرطانی، ضد انگلی، آنتی‌کوکسیدیال، افزایش رشد، افزایش اشتها، محرک ترشح صفرا و فعالیت آنزیم‌های هضم‌کننده.

جدول ۱. مهم‌ترین عصاره‌های گیاهان دارویی و خواص درمانی متعدد آن‌ها در آبزی‌پروری

نام گیاه	قسمت‌های مفید	مادۀ فعال	خواص درمانی	محقق
دارچین	پوست درخت	Ammameldehyde	محرک اشتها، ضدعفونی‌کننده	Adel و همکاران (۲۰۱۴)
زنجبیل	ریزوم	Zingerole	محرک معده	Salmaniyan و همکاران (۲۰۱۶)
سیر	پیاز	Allicin	محرک هضم، ضدعفونی‌کننده	Roohi و همکاران (۲۰۱۵)
رز ماری	برگ‌ها	Cineole	محرک هضم، ضدعفونی‌کننده، آنتی‌اکسیدان	Adel و همکاران (۲۰۱۴)

۱۱- تأثیر فیتوبیوتیک‌ها در بهبود شرایط استرس و عملکرد رشد

ماهی‌ها در سیستم‌های پرورشی متراکم به‌طور مداوم در معرض استرس می‌باشند که این امر منجر به تغییرات سطح بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی معنی‌داری در فعالیت موجودات می‌شود. عوامل استرس‌زا شامل دست‌کاری به‌طور مداوم، تراکم بالا، تیمارهای درمانی، خواص فیزیکی و شیمیایی نامناسب آب، تغییرات درجۀ حرارت می‌باشند. انواع مختلفی از افزودنی‌های غذایی از طریق آنزیم‌های خارجی و محرک‌های ترشح آنزیمی سبب سهولت در هضم و جذب مواد غذایی می‌گردند. این محرک‌های غذایی که سبب کاهش ضایعات مواد مغذی می‌شوند شامل پروبیوتیک‌ها و فیتوبیوتیک‌ها می‌باشند که باعث تعدیل میکروفلور مفید روده شده و آن را افزایش می‌دهند. رژیم غذایی مکمل با مخلوطی از فیتوبیک‌ها در ماهی تیلاپیا سبب بهبود ضریب تبدیل غذایی و بازده پروتئینی نسبت به گروه شاهد شد (Roohi *et al*, 2015). اثر چند فیتوبیوتیک بر عوامل رشد در ماهی تیلاپیا را در سیستم پرورشی متراکم نشان داد که جیره غذایی حاوی آویشن با غلظت ۱ درصد در هر کیلوگرم جیرۀ غذایی تأثیر بهتری روی عوامل رشد نسبت به جیره‌های غذایی حاوی ۱ درصد شنبلیله در ماهی تیلاپیا دارد (Roohi *et al*, 2015). با استفاده از ریحان در جیرۀ غذایی ماهی سیم دریایی (*Sparus aurata*) زمانی که ماهی‌ها با جیرۀ غذایی حاوی ۲ درصد دانۀ ریحان خشک‌شده در جیره یا حاوی ۲ درصد دانۀ ریحان خیسانده شده و خشک‌شده تغذیه شدند میزان رشد و بهره‌برداری از جیرۀ غذایی بهبود یافت؛ به‌علاوه، غذادهی با جیرۀ غذایی حاوی ۲ درصد برگ یا دانۀ خشک‌شدۀ ریحان منجر به افزایش در نگهداری پروتئین همراه با کاهش در مقدار چربی شد و فعالیت‌های آنزیم گوارشی (آمیلاز و لیپاز) و کل پروتئین سرم با استفاده از ریحان در تمام تیمارهای مورداستفاده در جیره در مقایسه با گروه شاهد افزایش یافت.

توصیۀ ترویجی

سیستم‌های بیوفلاک حاوی باکتری‌ها، جلبک‌ها، زئوپلانکتون‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها هستند. هر گروه از گونه‌ها ممکن است تأثیرات مثبتی داشته باشند و درواقع شامل میکروب‌های فتواتوتروفیک، شیمیواتوتروفیک و هتروتروفیک می‌باشند. هرکدام از

این موجودات بسته به میزان بار آلی در ورودی مواد غذایی، ورودی کربن آلی، حذف یا برداشت ذرات از سیستم بیوفلاک فعالیت می‌کنند. یک مزیت بزرگ در سیستم‌های بیوفلاک، بهره‌وری از مواد غذایی مضر توسط میکروب‌ها می‌باشد که آن‌ها را برای گونه‌های هدف قابل‌استفاده می‌کنند. این فناوری باعث افزایش کیفیت آب از طریق اضافه کردن منبع کربنی در سیستم‌های آبزی‌پروری، حذف مواد نیتروژنی سمی همچون آمونیاک و نیتریت، بهبود استفاده از غذا و افزایش کارایی رشد و همچنین باعث تحریک ترشح آنزیم‌های گوارشی شده که این عمل باعث افزایش هضم می‌گردد. استفاده از بیوفلاک میکروبی به‌عنوان غذا و نیز استفاده از بیوفلاک میکروبی به‌عنوان کنترل‌کنندهٔ زیستی از طریق آنزیم‌های خارجی و محرک‌های ترشح آنزیمی سبب سهولت در هضم و جذب مواد غذایی می‌گردند. این محرک‌های غذایی که سبب کاهش ضایعات مواد مغذی می‌شوند شامل پروبیوتیک‌ها و فیتوبیوتیک‌ها می‌باشد که باعث تعدیل میکروفلور مفید روده شده و آن را افزایش می‌دهند؛ بنابراین استفاده از بیوفلاک‌ها در آبزی‌پروری باعث افزایش کیفیت و بهبود استفاده از غذا و افزایش کارایی رشد و همچنین باعث تحریک ترشح آنزیم‌های گوارشی شده که این عمل باعث افزایش هضم می‌گردد. مزرعه‌داران می‌توانند با برنامه‌ریزی دقیق طبق یک پروتکل طبقه‌بندی‌شده، از بیوفلاک‌ها در آبزی‌پروری استفاده کنند و مسلماً از منظر تجربی مورد استقبال آبزی‌پروران قرار خواهد گرفت. ازاین‌رو استراتژی داشتن باکتری‌های غالب که به‌راحتی به‌وسیلهٔ آبزیان پرورشی خورده و هضم شوند بسیار بااهمیت و موردعلاقه خواهد بود.

منابع

1- Adineh, H., Naderi, M., Harsij, M., 2019. Biofloc technology improve growth, innate immune responses, oxidative status, and resistance to acute stress in common carp (*Cyprinus carpio*) under high stocking density. *Fish Shellfish Immunology*, 95: 440-448.

2- Adel, M., Safari, R., Nematolahi, A., Yeganeh, S., Ahmadvand, S., 2014. Effect of different levels of GroBiotic®-A probiotic on antibacterial activity and some immune parameters of *Huso huso*. *Exploitation and Aquaculture Journal*, 3: 99-110.

3- Alishahi, M., Mesbah, M., Namjoyan, F., Sabzevari-Zadeh, M., Razijalali, M., 2012. Effect compare of some immune stimulants of chemicals and plants in Astronotus ocellatus. *Iranian Veterinary Journal*, 8:58-68.

4- Anand, P. S., Shyne, V., Ghorbel, A., Boubaker, T., 2014. Effect of dietary supplementation of biofloc on growth performance and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 41: 108-115.

5- Azim, M., Little, D., 2008. The biofloc technology in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 20: 45-53.

6- Eslamloo, K., Akhavan, S. R., Henry, M. A., 2013. Effects of dietary administration of bacillus probiotics on the non-specific immune responses of tinfoil barb, barbonymus schwanenfeldii. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 43: 211-218.

7- Rather, M., Sharma, R., Aklakur, M., Ahmad, S., Kumar, N., Khan, M., Ramya, V., 2011. Nanotechnology: A novel tool for aquaculture and fisheries development: a prospective Mini-Review. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 32: 668-674.

8- Ray, A., Seaborn, G., Wilde, S., 2010. Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture*, 100: 130-138.

9- Roohi, Z., Imanpoor, M. R., Jafari, V., Taghizadeh, V., 2015. The use of fenugreek seed meal in fish diets: growth performance, haematological and biochemical parameters,

survival and stress resistance of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture Research*, 37: 229-238.

10- Salmaniyan, M., Hajimoradloo, A., Ghorbani, R., Roohi, Z., 2016. The effects of garlicsupplemented diets on skin mucosal immune responses, stress resistance and growth performance of the Caspian roach (*Rutilus rutilus*) fry. *Fish and Shellfish Immunology*, 49: 79-83.

11- Schveitzer, A., Dekhil, B., 2013. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of Litopenaeus vannamei in a tank system operated with no water exchange. Aquacultural Engineering, 56: 59-70.