2023, Vol.10, No.2, Pages 53 to 64
Journal of Water and Sustainable Development

سال دهم، شماره ۲، ۱۴۰۲، صفحات ۵۳ تا ۶۴
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Review Article

نوع مقاله: مروری

Sustainable Food Security with the Help of Sustainable Aquaculture Using Modern Aquaculture Systems (part 2): Opportunities and Challenges of New Systems Development

S. Zahedi[1*], M. H. Khanjani[2], S. Safaeiyan[3]

1, 3- Assistant Professor and M.Sc student, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Environmnet, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- Associate Professor, Department of Fisheries Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Jiroft University, Jiroft, Iran.

*(Corresponding Author Email: saeedzahedi@um.ac.ir)

Received: 17-04-2023 Revised: 30-05-2023
Accepted: 30-05-2023 Available Online: 21-09-2023

امنیت غذایی پایدار به کمک آبزی‌پروری پایدار با استفاده از سامانه‌های نوین آبزی‌پروری (قسمت دوم): فرصت‌ها و چالش‌های توسعه سامانه‌های نوین

سعید زاهدی[1*]، محمدحسین خانجانی[2]، سودابه صفائیان[3]

۱و ۳ - به ترتیب استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: saeedzahedi@um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰

Abstract

Aquaculture is a sustainable solution to respond to the increasing demand for animal protein and also, food security in the world, and today, in order to develop it, it is necessary to pay attention to the sustainable aquaculture approach (economically, socially and environmentally). The development of modern aquaculture systems has been greatly expanded in recent years and each of them pursues the goals of sustainable aquaculture in some way. In fact, modern aquaculture systems enable the achievement of sustainable aquaculture by maximizing the productivity of resources, reducing costs, appropriate production quantitatively and qualitatively, and a slight environmental effects. Among the systems introduced so far, recirculating aquaculture system, cages, aquaponics, biofloc and integrated multitrophic aquaculture systems are known as promising systems in aquatic production in the world that can be developed in Iran as well. In this review study, in addition to introducing and discussing the importance of these systems in sustainable aquaculture, the resulting opportunities and also, the challenges of developing these systems in the country are addressed.

Keywords: Recirculating Aquaculture Systems, Cage, Aquaponic, Biofloc, Integrated Multi-Trophic Aquaculture System.

چکیده

آبزی‌پروری راه‌حلی پایدار برای پاسخ به افزایش تقاضای پروتئین جانوری و امنیت غذایی در جهان است و امروزه، جهت توسعه آن، توجه به رویکرد آبزی‌پروری پایدار (به لحاظ اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی) ضروری است. توسعه سامانه‌های نوین آبزی‌پروری طی سال‌های اخیر گسترش زیادی یافته است و هر کدام از آنها، به نوعی اهداف آبزی‌پروری پایدار را دنبال می‌کنند. سامانه‌های نوین آبزی‌پروری، با به حداکثر رساندن بهره‌وری از منابع، کاهش هزینه‌ها، تولید مناسب از بعد کمی و کیفی و اثرات محیط‌زیستی اندک، حصول آبزی‌پروری پایدار را مقدور می‌سازند. در بین سامانه‌های معرفی شده تا کنون، سامانه‌های بازگردشی، قفس، آکواپونیک، بیوفلاک و پرورش تلفیقی جز سامانه‌های نویدبخش در تولید آبزیان در جهان شناخته می‌شوند که می‌توانند در ایران نیز توسعه زیادی بیابند. در مطالعه مروری حاضر، علاوه‌بر معرفی و بررسی اهمیت این سامانه‌ها در آبزی‌پروری پایدار، به فرصت‌های حاصل از توسعه این سامانه‌ها در کشور و چالش‌های فراروی آن پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سامانه بازگردشی، قفس، آکواپونیک، بیوفلاک و پرورش تلفیقی.

How to cite this article: Zahedi, S., Khanjani, M. H., & Safaeiyan, S. (2023). Sustainable Food Security with the Help of Sustainable Aquaculture Using Modern Aquaculture Systems (part 2): Opportunities and Challenges of New Systems Development . Journal of Water and Sustainable Development, 10(2), 53-64. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v10i2.2304-1232

مقدمه

باتوجه‌به افزایش جمعیت جهان، توسعه آبزی‌پروری به‌عنوان یکی از منابع تأمین‌کننده غذا و راه‌حلی در جهت رسیدن به امنیت غذایی پایدار، ضروری است. صنعت آبزی‌پروری با هدف تأمین نیاز بشر به منابع پروتئینی، در سرتاسر جهان رشد نسبتاً بالایی داشته است و توان تأمین افزایش جهانی تقاضای آبزیان را دارد (FAO، ۲۰۲۲).

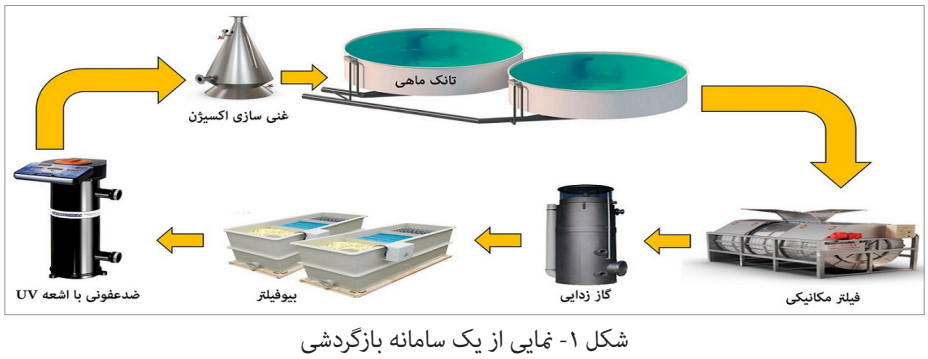
برای گسترش تولیدات آبزی‌پروری، سه هدف عمده را باید در نظر گرفت. هدف اول، توسعه آبزی‌پروری باید تولید بیشتر، بدون افزایش قابل توجه استفاده از منابع طبیعی (آب و زمین) را مد نظر قرار دهد (Avnimelech، ۲۰۱۲). به‌همین جهت، بسیاری از متخصصان آبزی‌پروری، در پی یافتن راهکارهایی برای به حداقل رسانیدن مصرف آب در فرآیند پرورش آبزیان هستند. هدف دوم، توسعه آبزی‌پروری باید مبتنی بر توسعه سامانه‌های پرورشی پایداری باشد که اثرات زیان‌آوری بر محیط‌زیست نداشته باشند (Naylor و همکاران، ۲۰۲۱). هدف سوم، در سامانه‌های مذکور، نسبت هزینه/سود باید منطقی باشد تا حمایت اقتصادی جامعه و پایداری تولید را میسر سازد (Avnimelech، ۲۰۱۲).

در قسمت اول این مقاله (زاهدی و همکاران، ۱۴۰۲)، پیرامون اهمیت گنجاندن سامانه‌های نوین آبزی‌پروری در اسناد بالادستی برای رسیدن به آبزی‌پروری پایدار در کشور صحبت شد. به‌طورکلی، سامانه‌های نوین آبزی‌پروری، امکان تولید گونه‌هایی از آبزیان را در زمان‌ها و مکان‌های جدیدی مقدور می سازند که در گذشته، چنین امکانی میسر نبود. همچنین، تولیدات این سامانه‌ها، از بعد کمی و کیفی، قابل توجه و پایدار است. در اینجا، ضمن معرفی مختصر و ذکر برخی از مزایا و معایب این سامانه‌ها، به فرصت‌های جدید ناشی از توسعه آنها و نیز، چالش‌ها و موانع پیش روی توسعه آنها در کشور خواهیم پرداخت. لازم به توضیح است که تمرکز در اینجا، بر سامانه‌هایی است که باتوجه‌به اولویت‌های ذکر شده در قسمت اول مقاله، برای آینده آبزی‌پروری کشور نویدبخش و قابل توصیه‌اند.

مهمترین سامانه‌های نوین قابل توصیه برای آینده آبزی‌پروری ایران

۱- سامانه‌های بازگردشی

در سال‌های اخیر، سامانه‌های آبزی‌پروری بازگردشی، رشد و توسعه چشمگیری را در جهان به‌ویژه کشورهای توسعه یافته پیدا کرده است. افزایش تقاضای عمومی در جهت رسیدن به یک آبزی‌پروری پایدار و سازگار با محیط‌زیست، کمبود روز افزون منابع آب شیرین و نیز، پیدایش فناوری‌های نوین تصفیه آب، منجر به علاقه‌مندی بیشتر پیرامون استفاده از سامانه‌های پرورشی بازگردشی برای تولید آبزیان شده است که مصرف آب تازه ورودی می‌تواند به میزانی حدود ۹۰-۹۹٪ کاهش بیابد (Gutierrez-Wing و Malone، ۲۰۰۶). در این سامانه‌ها، آب درون اجزای مختلف سامانه گردش نموده و بر حسب طراحی سامانه، درصدی از آب تعویض و درصدی تصفیه می شود که بر اساس میزان بازگردش، سطح فناوری و واحدهای تصفیه‌ای موجود، دو سامانه بازگردشی نسبی (آب برگشتی) و بازگردشی کامل (مدار بسته) تعریف شده است (Summerfelt و همکاران، ۲۰۰۱). یک سامانه بازگردشی کامل شامل مخازن ماهی، واحدهای تصفیه و پمپاژ آب است (شکل ۱).



شکل ۱- نمایی از یک سامانه بازگردشی

واحدهای تصفیه آب، قلب سامانه بازگردشی بوده که از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی برای تصفیه آب تا سطوح قابل قبول برای گونه پرورشی مدنظر، بهره می‌جویند. مزایای متعددی برای سامانه‌های بازگردشی عنوان شده است که عبارتند از: تولید بالا در تراکم‌های نگهداری بالا، کاهش حجم آب تازه مورد نیاز جهت تولید، شرایط محیطی پایدارتر و کنترل شده‌تر با کنترل کامل همه متغیرهای محیطی و در نتیجه، امکان تولید برنامه‌ریزی شده در کل سال، کنترل بیماری و افزایش امنیت زیستی، حفظ انرژی، بازده اقتصادی مطلوب و سازگاری با محیط‌زیست (Ebeling و Timmons، ۲۰۱۰). به‌همین‌علت، به‌کارگیری و توسعه این سامانه‌ها، سبب تحولی چشمگیر در مزارعی می‌شود که با محدودیت آبی مواجه‌اند (حاجی بگلو و

همکاران، ۱۳۹۷). در مقابل، سامانه‌های بازگردشی معایبی نیز دارند که مهمترین آنها، از دست دادن کیفیت آب طی بازگردش (در صورت عدم کنترل فرآیند تصفیه) می‌باشد که روی سلامتی آبزی اثرگذار بوده و سبب کاهش تولید و گاها خسارت‌های بسیار سنگین می‌شود. همچنین، برخی از فرآیندهای تصفیه‌ای همچون انجام تصفیه زیستی توسط باکتری‌های کمواتوتروف، پیچیدگی و حساسیت بالایی دارد. در آخر، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و اجرایی چنین سامانه‌هایی بسیار زیاد می‌باشد (Ebeling و Timmons، ۲۰۱۰).

۲- سامانه قفس

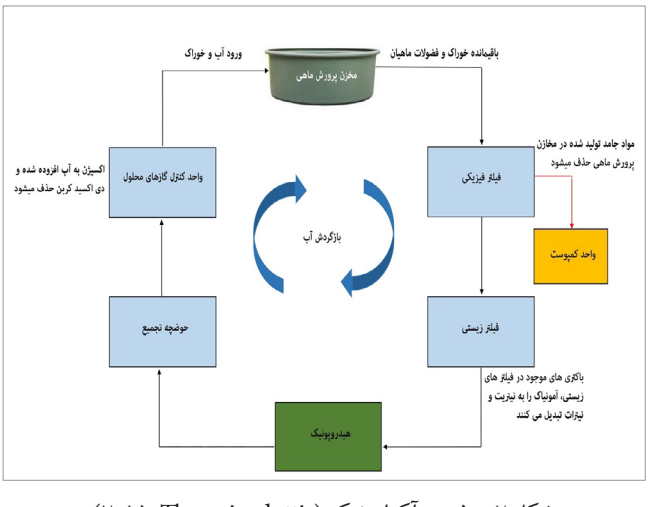
پرورش در قفس، نوعی از پرورش آبزیان است که در آن، آبزی مورد نظر در قفس‌های مستقر شده در محیط آبی، به‌منظور انجام عملیات پرورشی رهاسازی می‌شود و آب، به راحتی توان جابه‌جایی بین محیط محصور قفس و بدنه آبی اطراف را دارد (کردگاری، ۱۳۹۸). محدودیت منابع آب شیرین در جهان و اهمیت مدیریت برداشت از آنها و همچنین، وجود منابع عظیم دریایی، پرورش ماهی در قفس را در جایگاه ویژه‌ای در سطح جهانی قرار داده است به نحوی‌که، بسیاری از کشورهای پیشرفته از نظر آبزی پروری، سرمایه‌گذاری‌های زیادی را در این زمینه انجام داده‌اند و تمرکز اصلی در توسعه آبزی‌پروری را، بر توسعه پرورش در قفس‌های مستقر در دریا بنا نهاده‌اند (اسحق زاده و مرتضایی، ۱۳۹۷).

شاید بزرگترین مزیت پرورش ماهی (آبزیان) در قفس، ظرفیت تولیدی بالا در چنین سامانه‌هایی باشد چراکه وسعت محیط‌های دریایی، امکان استقرار سامانه‌های بزرگ پرورشی (با توان تولید چندهزار تن ماهی) را مقدور می‌سازد (اسحق‌زاده و مرتضایی، ۱۳۹۷). لازم به ذکر است که پرورش ماهی در قفس مزایای متعدد دیگری نیز دارد. ازجمله این مزایا، سهولت عادت‌پذیری ماهی با شرایط فیزیکوشیمیایی آب نسبت به سایر روش‌ها، سرمایه‌گذاری ثابت پایین‌تر به علت عدم نیاز به خرید زمین و آب، نزدیک بودن طعم و مزه آبزی پرورشی به آبزیان صید شده از دریا به‌دلیل پرورش یافتن در محیط طبیعی، مدیریت آسان‌تر نسبت به سایر روش‌ها، افزایش تنوع گونه‌ای و ارز آوری بالا با هدف صادرات می‌باشد (اسحق‌زاده و مرتضایی، ۱۳۷۹).

در مقابل، توسعه پرورش ماهی در قفس، با چالش‌های محیط‌زیستی متنوعی روبه‌رو است. به‌عنوان‌مثال، می‌توان به مواردی همچون ورود حجم بالای پساب به محیط آبی و نیز، ورود انواع آنتی بیوتیک‌ها، داروها و ترکیبات ضدعفونی به آب حین عملیات پرورشی اشاره نمود (کردگاری، ۱۳۹۸). عدم استفاده بهینه از نهاده‌ها به‌ویژه خوراک ماهیان، می‌تواند منجر به نشر حجم زیادی از مواد مغذی همچون نیتروژن، فسفر و کربن به محیط‌های آبی و در نتیجه، پدیده یوتریفیکاسیون شود که طی آن، جلبک‌های پلانکتونی، خزه و گیاهان به میزان نامطلوبی رشد می‌کنند و مشکلات اکسیژنی را در محیط آبی ایجاد می‌کند (Price و Morris، ۲۰۱۳). همچنین انتقال بیماری‌های مشترک بین محیط پرورشی و وحشی، ورود ساختارهای مصنوعی به محیط، فرار ماهیان پرورشی و احتمال بروز تداخلات ژنتیکی بین جمعیت‌های بومی و وحشی و سرانجام، اثرات بوم‌شناختی ازجمله معایب این سامانه‌ها می‌باشد (Pillay، ۲۰۰۴).

۳- سامانه آکواپونیک

امروزه آکواپونیک در بین جامعه، جذابیت زیادی برای ایجاد اشتغال، تولید غذا و درآمد دارد (Somerville و همکاران، ۲۰۱۴). آکواپونیک یک سامانه آبزی‌پروری است که در آن پساب تولید شده توسط ماهیان پرورشی، به‌عنوان محلول مغذی، برای گیاهانی استفاده می‌شود که به‌صورت هیدروپونیک رشد می‌کنند (رادخواه و همکاران، ۱۴۰۱). در اینجا، از مفاهیم طراحی محیط‌زیستی، مکانیک و مهندسی عمران و نیز، زیست‌شناسی، بیوشیمی و فناوری زیستی مرتبط با آب و گیاه، استفاده می‌شود (شکل ۲) (Thorarinsdottir، ۲۰۱۵). در مقابل، گیاهان به‌عنوان فیلتراسیون زیستی، نیتروژن مازاد آب را مصرف کرده و آب تصفیه شده، به مخازن نگهداری ماهی برگشت داده می شود (رادخواه و همکاران، ۱۴۰۱). به‌عبارت ساده، آکواپونیک نوعی سازگان زیستی یکپارچه و ترکیب دو فناوری سامانه‌های آبزی‌پروری بازگردشی و هیدروپونیک (تولید گیاه در آب و بدون خاک) در یک سامانه نیمه بسته می باشد (Junge و همکاران، ۲۰۱۷؛ Baganz و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، برای کاشت گیاه در این سامانه، دیگر نیازی به کوددهی نیست و پرورش ماهی در آن، نیازی به تعویض مکرر آب ندارد و این موضوع، به ماهی‌ها، محصولات گیاهی و میکروارگانیسم‌ها اجازه می‌دهد تا همزیستی سودمند متقابلی با یکدیگر داشته باشند (Somerville و همکاران، ۲۰۱۴).



شکل ۲- مفهوم آکواپونیک (Thorarinsdottir، ۲۰۱۵)

مزایای سامانه‌های آکواپونیک متعدد هستند: در این سامانه‌ها، تولیدکنندگان دو محصول (گیاه و ماهی) را از یک واحد تولیدی برداشت می‌کنند، ضمن اینکه محصولات تولیدی می‌تواند ارگانیک، سالم و طبیعی باشد. در مقایسه با سامانه‌های سنتی پرورش تجاری ماهی و گیاه، آکواپونیک می‌تواند در حدود ۹۰٪ صرفه‌جویی در مصرف آب را ایجاد کند (Love و همکاران، ۲۰۱۴). در این سامانه، دی اکسید کربن تولیدی (که یک عامل محدود کننده محسوب می‌شود) در طول روز، طی عمل فتوسنتز، توسط گیاه مصرف می‌شود. همچنین می‌توان فسفر تولید شده در پساب را بازیافت نمود و از آن به‌عنوان یکی از اجزای اصلی کود کشاورزی بهره جست (خانجانی و جمال‌الدینی، ۱۳۹۹). علاوه‌برآن، عدم استفاده از علف‌کش و حشره‌کش، حذف بیماری‌های خاکی با حذف خاک از سامانه، کشت متراکم گیاه، امکان تولید در سرتاسر سال، کاهش سرمایه‌گذاری (در مقایسه با سرمایه‌گذاری مجزا برای هرکدام از سامانه‌های آبزی‌پروری و هیدروپونیک)، از دیگر مزایای این سامانه‌ها به‌شمار می‌روند (Yep و Zheng، ۲۰۱۹)

یکی از مهمترین چالش‌های سامانه آکواپونیک، یافتن ترکیب مناسبی برای خوراک ماهی به‌منظور دستیابی به ترکیب آبی است که تا حد امکان، به نیازهای گیاه مدنظر نزدیک باشد که این موضوع، بستگی به گونه ماهی، تراکم ماهی، دما و نوع گیاهان (میوه‌ای یا برگ‌دار) دارد (Ragnarsdottir و همکاران ۲۰۱۱؛ Sverdrup و Ragnarsdottir، ۲۰۱۱). تاکنون، سامانه‌های بزرگ تجاری آکواپونیک در پرورش محصولات گلدار با ارزش مثل فلفل شیرین، گوجه‌فرنگی یا خیار، به دلیل وجود نسبت‌های نامناسب از مواد مغذی در محلول آکواپونیک (به‌ویژه پتاسیم، منیزیم و کلسیم)، دچار مشکلات زیادی بوده‌اند (Yep و Zheng، ۲۰۱۹). از سایر معایب سامانه‌های آکواپونیک می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: غالبا مخازن پرورش ماهی، فضای زیادی را اشغال نموده و سنگین هستند، پرورش برخی از ماهی‌ها، مستلزم داشتن مهارت کافی است، در زمستان باید مخازن گرم نگهداشته شوند که به انرژی بالایی نیاز دارد و نیز، هزینه نصب، راه‌اندازی و نگهداری این سامانه‌ها بالا است (روستا، ۱۳۸۸). همچنین، انجام برخی از اندازه‌گیری‌های خاص و نیز، فناوری‌های کنترلی، داشتن دانش مرتبط با رشته علوم کامپیوتر را در سامانه‌های کنترل خودکار، ضروری می‌سازد. سرانجام، بزرگترین چالش در آکواپونیک تجاری، سطح بالای پیچیدگی و چند رشته‌ای بودن آن است که تخصص بیشتری را می‌طلبد که این امر، بر کارایی سامانه در حال اجرا اثر مستقیم دارد (Goddek و همکاران، ۲۰۱۵).

۴- سامانه‌های مبتنی بر فناوری توده زیستی (بیوفلاک)

فناوری بیوفلاک به‌عنوان یک رکن مهم تحول یا انقلاب آبی[1] در قرن ۲۱ شناخته می‌شود که در آن، مواد مغذی به طور پیوسته بازیافت و مجددا استفاده می‌شود. فناوری بیوفلاک، فناوری مبتنی بر مصرف و تعویض آب محدود، تنظیم نسبت کربن به نیتروژن و هوادهی شدید می‌باشد که منجر به رشد و توسعه باکتری‌های هتروتروف و انواع میکروارگانیسم‌ها در سازگان پرورشی می‌گردد (Avnimelech، ۲۰۱۲). باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌های متصل به آن که در اصطلاح، بیوفلاک نامیده می‌شود، سه نقش اصلی را در سامانه بر عهده دارد:

۱) بهبود کیفیت آب با جذب ترکیبات نیتروژن غیر آلی

۲) تولید پروتئین میکروبی در همان محل پرورش به‌عنوان غذای مکمل

۳) خاصیت پروبیوتیکی: به‌دلیل وجود ترکیبات آلی متعدد در بیوفلاک‌ها نظیر پلی بتا هیدروکسی بوترات، باکتری‌های حاوی پپتیدوگلوکان و لیپوپلی ساکارید در دیواره سلولی خود، کاروتنوئیدها، کلروفیل‌ها، فیتواسترول‌ها، پلی‌فنول‌ها و انواع ویتامین‌ها (Khanjani و همکاران، ۲۰۲۲a؛ Khanjani و همکاران، ۲۰۲۳a؛ Khanjani و همکاران، ۲۰۲۳b).

نکته محدود کننده این است که تنها گونه‌هایی که بتوانند سطوح متوسط اکسیژن محلول در آب (۳ تا ۶ میلی گرم در لیتر)، مواد جامد معلق نسبتا بالا، کیفیت متوسط آب و تراکم پذیری را تحمل بکنند، می‌توانند در سامانه‌های مبتنی بر بیوفلاک پرورش بیابند (Khanjani و همکاران، ۲۰۱۶). به‌این‌علت تاکنون، استفاده از این فناوری تنها در آبزیانی مانند میگوی سفید غربی (Khanjani و همکاران، ۲۰۱۶)، تیلاپیای نیل (Khanjani و همکاران، ۲۰۲۱)، کپور معمولی (Minabi و همکاران، ۲۰۲۰)، گربه ماهی (Dauda و همکاران، ۲۰۱۸)، میگوی موزی (Khanjani و Sharifinia، ۲۰۲۲b)، کپور نقره ای (Zhao و همکاران، ۲۰۱۸)، کپور کاراس (Liu و همکاران، ۲۰۱۹) و کپورماهیان هندی از قبیل کاتلا، روهو و مریگال (Deb و همکاران، ۲۰۲۰) گزارش شده است.

به‌طور کلی، در سامانه‌های پرورش متراکم آبزیان، تعویض آب یک عملیات ضروری برای حفظ کیفیت آب می‌باشد. امروزه باتوجه‌به کمبود منابع آب شیرین به‌منظور تعویض آب در آبزی‌پروری، به‌کارگیری فناوری بیوفلاک به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است (De Schryver و همکاران، ۲۰۰۸). در مطالعه Deb و همکاران (۲۰۲۰) میزان مصرف آب در سامانه پرورشی مبتنی بر فناوری بیوفلاک به‌طور معنی‌داری (۳۸٪) کمتر از سامانه معمولی بود که در جدول (۱) برخی از نتایج به‌صورت جزئی ذکر شده است. همچنین، در مطالعه دیگری، نیاز به تعویض آب در سامانه پرورشی مبتنی بر فناوری بیوفلاک برای پرورش کپور هندی روهو (*Labeo rohita*)، ۳۶٪ کمتر از سامانه معمولی بود (Mahanand و همکاران، ۲۰۱۳). در مطالعه Cang و همکاران (۲۰۱۹)، برای پرورش ماهی کاراس (*Carassius auratus gibelio*) در سامانه معمولی، میزان تعویض آب، ۲۴۰۱۲ مترمکعب و مصرف آب ۳۱/۷ مترمکعب به ازای هر کیلوگرم ماهی تولیدی بود درحالی‌که در سامانه مبتنی بر فناوری بیوفلاک، میزان تعویض آب صفر مترمکعب و مصرف آب ۰/۳

مترمکعب به ازای هر کیلوگرم ماهی تولیدی گزارش شد. مصرف آب در فناوری بیوفلاک، درحدود ۶/۸ مترمکعب برای تولید هرکیلوگرم از میگوی عظیم جثه آب شیرین و ۰/۰۷۱ مترمکعب برای تولید هر کیلوگرم از تیلاپیای نیل می‌باشد (Pérez-Fuentes و همکاران، ۲۰۱۳؛ ۲۰۱۶). برای روشن‌تر شدن ذهن مخاطب، ذکر این نکته ضروری است که در سامانه‌های پرورشی باز، اگر به ازای هر سه لیتر بر ثانیه آب ورودی، یک تن قزل‌آلای رنگین کمان در سال تولید شود (که میزان راندمان تولید اکثر مزارع سردابی ایران کمتر از این مقدار است)، نزدیک به ۱۰۰۰۰۰ متر مکعب آب به ازای هر تن ماهی تولیدی در سال نیاز است. اما نیاز آبی تولید تیلاپیا با استفاده از فناوری بیوفلاک (۷۰ مترمکعب)، حدود ۱۴۰۰ برابر کمتر است.

به جزء تعویض محدود آب، سامانه‌های بیوفلاک مزایای متعدد دیگری همچون کاهش اثرات محیط‌زیستی آبزی‌پروری به دلیل عدم وجود پساب، کاهش هزینه خوراک و بهبود رشد و ایمنی آبزی (به جهت تغذیه از بیوفلاک مغذی) و نیز، امنیت زیستی بالا (به دلیل عدم نیاز به ورود آب از محیط و درنتیجه، کاهش ورود پاتوژن‌های بیماری‌زا به سامانه و مدیریت جوامع میکروبی مفید و ایجاد محدودیت برای عوامل بیماری‌زا) دارد (Moss و Leung، ۲۰۰۷). استفاده از بیوفلاک به‌عنوان خوراک مکمل در آبزی‌پروری حدود ۱۵٪ از کل هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهد (Khanjani و همکاران، ۲۰۲۳a). استفاده از بیوفلاک برای تولید یک کیلوگرم میگوی ببری سبز (*Penaeus semisulcatus*) با ۳۳٪ (Megahed، ۲۰۱۰) و برای تولید یک کیلوگرم تیلاپیا با ۱۰٪ (De Schryver و Verstraete، ۲۰۰۹) کاهش هزینه همراه بوده است. بطور کلی، این کاهش هزینه خوراک بستگی به گونه، جیره غذایی، میزان مصرف بیوفلاک و قیمت کربوهیدرات مصرفی دارد.

بزرگترین چالش فناوری بیوفلاک، کنترل ذرات جامد معلق در آن است زیرا با افزایش آنها، کدورت آب افزایش و میزان اکسیژن محلول، کاهش می‌یابد که در طول دوره پرورش، سبب کاهش رشد، افزایش طول دوره پرورش و افزایش میزان ضریب تبدیل خوراک خواهد شد. محدودیت دیگر، مصرف بالای انرژی در این سامانه است چراکه تعداد زیادی پمپ آب و هواده الکتریکی، برای ایجاد جریان در آب استخر و نیز، تأمین اکسیژن مورد نیاز آبزی و سامانه، باید هم‌زمان کار کنند (Avnimelech، ۲۰۱۲). متأسفانه، هرگونه نقص فنی و خرابی در سیستم هوادهی و پمپاژ، در مدت زمان کوتاهی، می‌تواند سبب تلفات شدید آبزیان شود. بنابراین فناوری بیوفلاک علاوه‌بر جذابیت بالا، پیچیدگی بسیار زیادی دارد و افراد علاقه‌مند به راه‌اندازی سامانه‌های مبتنی بر این فناوری، باید دانش فنی و تجربه کافی در این زمینه را داشته و یا از کارشناسان مجرب بهره گیرند (قائدی و همکاران، ۱۴۰۱).

جدول ۱- نیاز به مصرف آب در دو سامانه بیوفلاک و معمولی برای پرورش

منبع	روزهای تعویض آب پس از ذخیره‌سازی ماهی	کل نیاز آب (لیتر)	تعداد دفعات تعویض آب	سیستم پرورش	تراکم نگهداری	گونه پرورش یافته
Deb و همکاران، ۲۰۲۰	۲۰، ۳۸، ۵۵، ۷۳، ۸۶	۱۷۵۰	۵	سیستم معمولی	۴/۲۸ مترمکعب/ ماهی	*Rohu* (*Labeo rohita*), *Catla* (*Catla catla*), *Mrigal* (*Cirrihinus mrigala*)
	۳۵، ۵۸، ۷۸	۱۰۵۰	۳	سیستم بیوفلاک		
	۱۶، ۳۱، ۴۸، ۶۵، ۸۳	۱۷۵۰	۵	سیستم معمولی	۸/۵۷ مترمکعب/ ماهی	
	۳۴، ۵۵، ۷۵	۱۰۵۰	۳	سیستم بیوفلاک		
	۱۳، ۲۹، ۴۳، ۵۷، ۷۱، ۸۴	۲۱۰۰	۶	سیستم معمولی	۱۲/۸۵ مترمکعب/ ماهی	
	۳۸، ۶۲، ۷۴، ۸۶	۱۴۰۰	۴	سیستم بیوفلاک		
Mahanand و همکاران، ۲۰۱۳	۳۰، ۴۲، ۶۰، ۷۲	۳۴۵	۴	سیستم معمولی	۱/۳ مترمربع/ ماهی	*Rohu, Labeo rohita*
	۵۳، ۶۵، ۸۶	۲۰۸	۳	سیستم بیوفلاک		
	۲۳، ۵۰، ۶۵، ۸۳	۲۰۸/۵	۴	سیستم معمولی	۲/۶ مترمربع/ ماهی	
	۳۱، ۶۲، ۷۷	۱۴۰/۴	۳	سیستم بیوفلاک		
	۲۰، ۳۲، ۴۷، ۶۲، ۷۷	۲۰۰/۵	۵	سیستم معمولی	۳/۹ مترمربع/ ماهی	
	۴۴، ۵۹، ۷۱، ۸۳	۱۳۳/۷	۴	سیستم بیوفلاک		

۵- سامانه‌های پرورش تلفیقی آبزیان[۲]

سامانه پرورش تلفیقی (هم‌زمان) آبزیان، طی دهه‌های گذشته ایجاد شده و مبتنی بر استفاده از تمام سطوح غذایی (تروفی) برای تولید هم‌زمان برخی از گونه‌های آبزی است که این آبزیان، از سطوح مختلف زنجیره غذایی استفاده می‌کنند، به گونه‌ای که به پایداری محیطی (کنترل زیستی)، ثبات اقتصادی (تنوع محصول و کاهش خطر) و پذیرش اجتماعی (مدیریت بهتر) کمک کند. در این سامانه، انتخاب گونه‌های پرورشی مناسب و در نظر

گرفتن اندازه جمعیتی آنها برای دستیابی به یک فرآیند زیستی و شیمیایی بهینه، بهبود سلامت بوم سازگان و پایداری صنعت کاملا ضروری است (Khanjani و همکاران، ۲۰۲۲c).

در این سامانه، پسماند تولیدی توسط آبزیان متعلق به یک سطح غذایی، به‌عنوان غذا یا کود برای آبزیان واقع در سطوح پایین‌تر غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که همزمان با آنها پرورش داده می‌شوند. به‌عبارت ساده‌تر، در این سامانه پرورشی، مواد غذایی استفاده نشده، مواد معدنی و متابولیت‌های تولید شده توسط گونه‌های هدف اصلی که غالبا به سطوح بالای زنجیره غذایی تعلق دارند یعنی گوشتخوار می‌باشند (مثل ماهی سالمون پرورش یافته در قفس‌های دریایی)، به‌عنوان غذا برای آبزیانی همچون گیاهان، نرم‌تنان، سخت پوستان و غیره که به سطوح پایین‌تر غذایی تعلق دارند و محل پرورش آنها در همان حوالی قفس‌ها تعبیه شده است، با اهداف زیر استفاده می‌شود: ۱) بازگرداندن تعادل به محیط، بهبود شرایط محیطی و زیست پالایی ۲) افزایش دوام اقتصادی (بهبود و تنوع محصول، کاهش هزینه و سود خالص بیشتر) ۳) افزایش پذیرش اجتماعی محصولات آبزی‌پروری (از طریق تبلیغ شیوه‌های مدیریتی برتر) (Neori و همکاران، ۲۰۰۴؛ Barrington و همکاران، ۲۰۰۹؛ Cutajar و همکاران، ۲۰۲۲).

ازجمله مشکلات پیش روی این سامانه‌های پرورشی می‌توان به مسائل مربوط به فرار ماهیان از مزارع (Chopin، ۲۰۱۳)، افزایش احتمال انتقال بیماری بین گونه‌های مختلف پرورشی در سایت پرورش (Skår و Mortensen، ۲۰۰۷)، عدم سهولت توسعه این سامانه‌ها و نیز، نیاز به شناخت کافی و داشتن اطلاعات جامع فیزیولوژیک برای گونه‌هایی که با هم پرورش داده می‌شوند، اشاره کرد (Ren و همکاران، ۲۰۱۲).

فرصت‌ها، چالش‌ها و راهکارهای توسعه سامانه‌های نوین آبزی‌پروری در ایران

توسعه سامانه‌های نوین آبزی‌پروری در کشور، مشابه هر سامانه یا فناوری جدیدی، فرصت‌های تازه‌ای را در اختیار کشور قرار داده که با مشکلات و چالش‌هایی نیز در مسیر توسعه روبه‌رو خواهد بود. البته باتوجه‌به ماهیت و شرایط متفاوت سامانه‌های معرفی شده، توصیه راهکارهای توسعه یکسان مقدور نمی‌باشد. در ادامه، به اختصار به برخی از مهمترین فرصت‌ها، چالش‌ها و راهکارهای (پیشنهادی) توسعه سامانه‌های نوین در کشور پرداخته می‌شود.

۱- سامانه‌های بازگردشی:

توان تولیدی سامانه‌های بازگردشی به‌ویژه سامانه‌های بازگردشی کامل (در اصطلاح مداربسته) به نسبت آب مورد استفاده بسیار بالا است. مهم‌تر، با استمداد از این سامانه‌ها، پرورش هرگونه‌ای با هر نوع نیاز دمایی، در اقلیمی با شرایط کاملاً متفاوت ممکن می‌شود چراکه این سامانه‌ها، حداقل تبادل را با محیط اطراف دارند (Ebeling و Timmons، ۲۰۱۰). باتوجه‌به اینکه گونه‌های مهم تجاری ایران همچون قزل‌آلای رنگین‌کمان و فیل ماهی (از ماهیان خاویاری) از سطوح بالای زنجیره غذایی تغذیه می‌کنند، پرورش آنها در سامانه‌های بازگردشی کامل، کاملاً توجیه‌پذیر است.

باوجود تلاش‌های زیادی که طی دو دهه گذشته پیرامون توسعه سامانه‌های بازگردشی کامل در ایران صورت پذیرفته، توفیق و توسعه قابل توجهی در این زمینه در کشور ایجاد نشده است. ضعف مدیریت، عدم تطابق سامانه با آبزی و راندمان پایین تجهیزات به‌کار گرفته شده، از نکات قابل تأمل می‌باشد. سامانه‌های بازگردشی به شدت سامانه‌های پیچیده و نیازمند مدیریت بسیار بالای تصفیه آب هستند (Ebeling و Timmons، ۲۰۱۰). کمبود دانش فنی و تجهیزاتی در این زمینه در کشور کاملاً احساس می‌شود. نکته‌ای که برخی از صاحب نظران این سامانه‌ها بر آن تأکید دارند، عدم دسترسی به خوراک مناسب برای چنین سامانه‌هایی در کشور است، جایی‌که میزان مدفوع تولیدی زیاد و در نتیجه، میزان ذرات معلق جامد بالا می‌باشد. افزایش مواد آلی آب بر عملکرد باکتری‌های نیتریفیکانت اثر منفی دارد که این باکتری‌ها، گلوگاه واحدهای تصفیه بوده و نقش تصفیه زیستی را بر عهده دارند (Khanjani و همکاران، ۲۰۲۲a). همچنین، هزینه تمام شده تولید ماهی در چنین سامانه‌هایی در مقایسه با سامانه‌های باز بالاتر است چراکه هزینه‌های ثابت سرمایه‌ای بسیار بیشتر می باشد.

تشکیل کارگروه تخصصی سامانه‌های بازگردشی در سازمان شیلات ایران با حضور تخصص‌های مختلف مرتبط، آموزش کارشناسان و بهره‌برداران، افزایش سطح فناوری مزارع، تولید خوراک تخصصی برای سامانه‌های بازگردشی کامل، تغییر نوع فعالیت برخی از مزارع به مزارع حد واسط و یا تولید بچه ماهی انگشت قد و یا تغییر گونه پرورشی، هوشمندسازی و ... می‌تواند در بهبود و افزایش راندمان این سامانه‌ها کمک نماید.

۲- قفس:

با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران، پرورش ماهی در قفس، پتانسیل رشد و توسعه فوق‌العاده‌ای دارد و چون فرصت‌های ویژه‌ای را در اختیار قرار می‌دهد، در برنامه ششم توسعه، اهمیت و جایگاه ویژه‌ای به آن داده شد (زاهدی و همکاران، ۱۴۰۲). در ایران، وجود نوار ساحلی گسترده در شمال و جنوب کشور، امکان بالقوه‌ای را برای پرورش ماهی در قفس ایجاد نموده است. برآوردهای اولیه انجام شده در مطالعات امکان‌سنجی و پتانسیل‌یابی پرورش ماهیان دریایی در قفس (همکاری شرکت نروژی Refa با سازمان شیلات ایران) نشان داد پتانسیل تولید ماهیان دریایی در قفس در دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان به‌ترتیب ۴۴۰، ۳۰۰ و ۱۷۰ هزار تن می‌باشد (اسحق‌زاده و

مرتضایی، ۱۳۹۷). به‌این‌دلیل، بسیاری از کارشناسان آبزی‌پروری معتقد هستند که پرورش ماهی در قفس‌های دریایی می‌تواند به‌عنوان اولویت اول و مهمترین راهکار توسعه محصولات آبزی‌پروری در ایران تلقی شود که اهمیت بالایی در توسعه اشتغال در مناطق ساحلی و ارزآوری برای کشور دارد.

در مقابل، آمارهای ارائه شده توسط سازمان شیلات این موضوع را به‌خوبی نشان می‌دهد که ایران برخلاف سایر کشورهای آسیایی در حوزه پرورش ماهی در قفس‌های دریایی، باوجود پتانسیل بالای مکانی در شمال و جنوب کشور و داشتن نیروی کار کافی، توفیق توسعه چندانی نداشته است (آسمان نسب و عشاق خسروشاهی، ۱۳۹۹). در سبب‌شناسی آن، موارد متعددی را می‌توان مطرح نمود که شاید از مهمترین آنها، عدم وجود دانش فنی و تجربه کافی در کشور باشد. هنوز در ایران، وابستگی بالایی در مقوله مکان‌یابی، مهندسی، تجهیزات و ... به شرکت‌های خارجی وجود دارد. ایجاد مشوق‌های لازم برای ورود جامعه محققین و متخصصین شیلاتی، فناوران و شرکت‌های دانش بنیان داخلی تولیدکننده تجهیزات قفس برای رفع این نقیصه امری ضروری است. علاوه‌برآن، تأمین بچه ماهی و خوراک با کیفیت از محدودیت‌های اصلی این صنعت است. شاید راهکار میانه برای تأمین بچه ماهی مورد نیاز قفس‌ها، واردات بچه ماهی گونه‌های مهم تجاری از خارج کشور باشد (که هم اکنون انجام می‌شود) اما نمی‌تواند به‌عنوان راهکار دائمی و اصلی مطرح شده و در آینده قطعاً، صنعت پرورش ماهی در قفس را با مشکلاتی مشابه صنعت قزل‌آلای رنگین‌کمان مواجه خواهد نمود. تأمین اعتبار و انجام حمایت‌های مالی لازم برای ادامه پروژه‌های تکثیر و پرورش گونه‌های بومی و طرح‌های پایلوت در مراکز تحقیقات شیلاتی کشور (به‌منظور تأمین نیاز بخش تولید) می‌تواند گام موثری در این زمینه باشد.

از بعد دیگر، در بحث چالش‌های محیط‌زیستی این سامانه‌ها، انجام مطالعات منطقه‌ای برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پرورش ماهی در قفس لازم است. همچنین، مکان‌یابی دقیق، رعایت مهندسی سازه، تدوین مقررات لازم پیرامون استفاده از داروها، مواد ضدعفونی و آنتی فولینگ، الزام به واکسیناسیون، مدیریت صحیح تغذیه‌ای و بهداشتی و ... می‌تواند در تقلیل اثرات محیط‌زیستی قفس‌ها موثر افتد.

در پایان، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و لجستیکی بالا برای سامانه قفس، یکی از چالش‌های فراروی توسعه آنها در کشور است؛ چراکه این فعالیت بایستی در مقیاس بالا انجام شود تا از نظر اقتصادی قابل توجیه باشد. در اینجا، سیاست‌گذار باید سیستم بانکی کشور را مجبور به انجام حمایت‌های مالی لازم در غالب تسهیلات بانکی ارزان قیمت با دوره تنفس کافی بنماید. به‌نحوی‌که سود تسهیلات پرداختی و بازه زمانی بازپرداخت منطبق بر دوره‌های تولید و هزینه‌های تولید باشد. باتوجه‌به ظرفیت بالای تولید قفس‌ها و نیاز به صادرات محصولات تولیدی، برداشتن موانع قانونی موجود، تسهیل امر صادرات و اعطای مشوق‌های مالی لازم، بسیار ضروری می‌نماید.

۳-آکواپونیک:

چرخش مجدد آب در سامانه‌های آکواپونیک منجر به حفظ قابل توجه آب در آنها می‌شود و تنها نیاز آبی سامانه برای جبران مواردی همچون تعرق گیاه، تبخیر سطحی و خروج مواد جامد معلق می‌باشد. این موضوع امکان این را می‌دهد که چنین سامانه‌هایی در مناطق درگیر خشکسالی و یا زمین‌هایی استفاده شود که برای کشاورزی سنتی مناسب نیستند (Zappernick و همکاران، ۲۰۲۲). باتوجه‌به مزایای بی‌شمار سامانه‌های آکواپونیک و محدودیت‌های روز افزون آبی در ایران، توسعه چنین سامانه‌هایی به قطع، نقش مهمی در امنیت غذایی کشور خواهند داشت (رادخواه و همکاران، ۱۴۰۱).

چالش‌های متعددی پیرامون توسعه سامانه‌های آکواپونیک در ایران وجود دارد که مهمترین آنها، نبود دانش فنی کافی به جهت جوان بودن این سامانه‌ها در کشور و پیچیدگی ذاتی آن است جایی‌که چندین گونه با ویژگی‌ها و نیازمندی‌های زیستی متفاوت با هم پرورش داده می‌شود (خانجانی و جمال‌الدینی، ۱۳۹۹؛ رادخواه و همکاران، ۱۴۰۱). هنوز، پیرامون نسبت بهینه ماهی به گیاه یا نحوه درمان گیاه/ماهی اطلاعات کاملی وجود ندارد. تفاوت ماهوی نیازهای ماهی و گیاه به مواد مغذی و نیاز به تنظیم دقیق آن و مهمتر، پیچیدگی جوامع میکروبی موثر در رشد گیاه، از چالش‌های کلیدی سامانه‌های مذکور است که در کشور ما نیز شاید دلیل بروز مشکلات برخی از پرورش‌دهندگان بوده است. بااین‌حال، انجام تحقیقات پیرامون بهینه‌سازی عملکرد گیاهان مختلف در چنین سامانه‌هایی بدون نیاز به اضافه کردن افزودنی‌ها و انجام طرح‌های پایلوت در اندازه مناسب و در مناطق مختلف کشور می‌تواند مفید باشد. سود حاصل از فعالیت باتوجه‌به هزینه‌های سرمایه‌گذاری به نسبت بالا، از چالش‌های دیگر این سامانه‌ها است که شاید توجیه اقتصادی و برگشت سرمایه را با ابهاماتی متوجه سازد. متاسفانه خیلی از محصولات ارگانیک و لوکس این سامانه‌ها، مصرف قابل توجه و بازار تضمین شده‌ای در داخل کشور ندارد.

متخصصین، مبحث انرژی را از دیگر چالش‌های مهم توسعه سامانه آکواپونیک در کشورهای جهان سوم می‌دانند (Goddek همکاران، ۲۰۱۵). هرچند، ایران به دلیل برخورداری از ذخایر فراوان انرژی‌های فسیلی و قیمت مناسب انرژی در بخش کشاورزی، محدودیتی در این زمینه ندارد، ولی تأمین مستمر انرژی (گاز و برق) به‌ویژه در مواقع محدودیت عرضه (ناشی از اوج مصرف) می‌تواند از چالش‌های جدی فراروی سامانه باشد.

شاید تجهیز سامانه به سیستم پشتیبان انرژی (از منابع انرژی پاک مثل خورشیدی و بادی) تا حدی در مواقع اضطرار کمک کننده باشد، ولی به قطع، تکیه به آنها برای طولانی مدت، می‌تواند ریسک بالایی برای تولیدکننده ایجاد نماید.

در پایان، نگارندگان بر این باورند که ما علاوه‌بر توسعه سامانه‌های آکواپونیک در مقیاس بزرگ (با توان تولید محصولاتی با قابلیت صادرات)، نیازمند توسعه سامانه‌های آکواپونیک به‌صورت مزارع خرد روستایی هستیم که می‌تواند علاوه‌بر امنیت غذایی و ایجاد اشتغال در این مناطق، به افزایش درآمد روستاییان کمک نموده و در مجموع، به امنیت عمومی جامعه به‌ویژه در مناطق مرزی و کاهش سرعت مهاجرت روستاییان به مناطق شهری کمک نماید. البته طراحی مدل مناسب ترویج، تولید و توسعه آن، آموزش، حمایت حاکمیتی و ... ازجمله مسایلی است که نباید از نظر دور نگهداشته شود.

۴-بیوفلاک:

استفاده کاربردی از فناوری بیوفلاک، به‌عنوان یک فناوری آبزی‌پروری سازگار با محیط‌زیست، با توان تولید بالا، یکی از راهکارهای رسیدن به آبزی‌پروری پایدار در کشور است. نگارندگان معتقدند توسعه فناوری بیوفلاک و سامانه‌های پرورشی مبتنی بر آن، می‌تواند گام مهمی در توسعه آبزی‌پروری کشور به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک باشد که شاید بتوان از آن، به‌عنوان گام چهارم توسعه آبزی‌پروری در ایران نام برد. با کمک این فناوری، امکان توسعه آبزی‌پروری در شرایط خشک‌سالی اخیر کشور و با محدودیت‌های روز افزون استحصال از منابع آب شیرین وجود دارد. با استمداد از فناوری بیوفلاک، می‌توان پتانسیل مغفول مانده استفاده از آب‌های نامتعارف کشور برای آبزی‌پروری را فعال نمود و در چرخه تولید قرار داد. نکته بسیار مهم دیگر، تولید بیوفلاک چه به‌صورت مجزا از آبزی (سامانه‌های غیرمستقیم یا ex-situ) یا توام با آن (سامانه‌های مستقیم یا in situ)، به واردات هیچ اقلامی وابستگی نداشته و از منظر اقتصادی کاملاً به صرفه می‌باشد.

لازم به ذکر است پرورش گونه‌هایی مثل تیلاپیا که مخالفت‌های (گاهاً نادرست) محیط‌زیستی را در کشور ایجاد کرده است (وزیرزاده، ۱۳۹۶) و درگیر اختلاف نظرهای بین سازمان شیلات و سازمان حفاظت محیط‌زیست شده است، در سامانه‌های مبتنی بر فناوری بیوفلاک، به دلیل تعویض آب محدود، قابل قبول است. رفع بن‌بست تولید و توسعه پرورش ماهی تیلاپیا (به‌عنوان گزینه اول پرورش ماهی در قرن ۲۱ در جهان و ماهی که می‌تواند به راحتی و با صرفه اقتصادی پرورش یابد) در کشور، باتوجه‌به شرایط کنونی اقتصادی، تنها در سامانه‌های بیوفلاکی بیشترین توجیه اقتصادی را دارد که هم نگرانی‌های محیط‌زیستی به‌دلیل بسته بودن سامانه به حداقل می‌رسد، هم اراضی شور و کم ارزش بیابانی می‌تواند در آبزی‌پروری استفاده شود (برای عدم ارتباط آب و خاک در این سامانه). با بهره جستن از این سامانه، فشاری بر منابع آب شیرین وارد نیامده و بیشترین راندمان استفاده از آب در تولید آبزی حاصل می‌شود. به‌این‌دلیل، با برداشتن ممنوعیت صدور مجوز پرورش تیلاپیا در اکثر نقاط کشور، می‌توان به توسعه کشوری فناوری بیوفلاک امید داشت. البته مطرح نمودن امکان جایگزینی تیلاپیا با سایر گونه‌ها، موضوع چالش برانگیز دیگری است چراکه با فرض جایگزینی کپور معمولی با تیلاپیا، سود به‌دست آمده از فعالیت پرورشی می‌تواند تغییر یابد.

شاید بدیهی ترین چالش در ترویج فناوری بیوفلاک، متقاعدسازی جامعه محافظه‌کار بهره‌برداران بخش کشاورزی ایران برای استفاده از آب قهوه‌ای برای پرورش ماهی/میگو باشد و متاسفانه، عمده بهره‌برداران سن بالا و سطح سواد پایینی دارند و درک فناوری برای آن‌ها مشکل است (مرکز پژوهش‌ها مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۰). به‌طورکل، پذیرش نوآوری و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در عرصه کشاورزی و نیز یادگیری، فرآیندی پیچیده و چندمرحله‌ای است (سالارپور و همکاران، ۱۴۰۰). ترویج و توسعه سامانه‌های پرورشی مبتنی بر فناوری بیوفلاک در کشور، مستلزم انجام پروژه‌ها و طرح‌های پایلوت متعدد، در مقیاس متفاوت برای گونه‌های مختلف است. فناوری پرورش هم‌زمان آبزی و بیوفلاک (سامانه‌های مستقیم)، به مدیریت بالای آب نیازمند می‌باشد که مدیریت آن برای بیشتر پرورش‌دهندگان معمولی، امر مشکلی است. شاید الزام ورود متخصصین و فارغ‌التحصیلان شیلاتی به چنین مزارعی توسط سازمان‌های ذی‌ربط، بتواند راهگشا بوده و از بروز خسارت‌های شدید جلوگیری نماید. از طرف دیگر، به نظر می‌رسد راه‌اندازی سامانه‌های پرورش مجزای آبزی و بیوفلاک (سامانه‌های غیرمستقیم) در شرایط کنونی کشور، زیاد توجیه‌پذیر نباشد. پرواضح است که برای نیاز به عدم تماس آب سامانه با خاک و نیز، کنترل دما برای تأمین نیاز رشدی آبزی و جامعه هتروتروفی، هزینه‌های اولیه ساخت و راه‌اندازی این سامانه‌ها بسیار بالا است که تنها در صورتی دارای توجیه اقتصادی برای پرورش متراکم آبزیان خواهد بود که ظرفیت تولیدی مزرعه بالا باشد. صدور مجوزهای لازم توسط سازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، پذیرش بیمه محصول توسط صندوق بیمه محصولات کشاورزی و تأمین صحیح مالی پروژه‌ها توسط بانک‌های عامل می‌تواند در ترغیب بخش خصوصی برای سرمایه‌گذاری در این فناوری، موثر باشد.

۵-پرورش تلفیقی آبزیان:

انتظار می‌رود سامانه‌های پرورش تلفیقی آبزیان به‌ویژه به‌دلیل مزیت‌های متعددی که برای پایداری پرورش ماهی در قفس دارند، رشد قابل توجهی را در آینده جهان داشته باشند. همچنین، چشم‌انداز اقتصادی روشن، پذیرش اجتماعی و مهمتر

از آن، رویکرد سازگار با محیط‌زیست آنها به محبوبیت جهانی آنها خواهد افزود. توسعه آنها به قطع می‌تواند به سلامت محیط‌زیست، توسعه اقتصادی و ایجاد شغل در مناطق ساحلی در سرتاسر جهان کمک کند (Khanjani و همکاران، ۲۰۲۲c).
توسعه سامانه‌های پرورش تلفیقی در ایران به مفهوم کلاسیک آن، منوط به رشد و توسعه پرورش ماهی در قفس می‌باشد که پیرامون پرورش ماهیان دریایی در قفس، سرمایه‌گذاری و تلاش‌های خوبی طی سال‌های اخیر در کشور انجام شده است. در حال حاضر، باتوجه‌به عدم استقرار چنین سامانه‌هایی در کشور، اظهار نظر پیرامون وضعیت آنها مقدور نمی‌باشد. اما انجام مطالعات برای توسعه نوعی از این سامانه‌ها، که قابلیت استقرار در خشکی یا نوار ساحلی دارند و برای پرورش هم‌زمان چند گونه آبزی استفاده می‌شوند، می‌تواند آینده نویدبخشی را برای توسعه نوعی از آبزی پروری پایدار (و اقتصادی) در مناطق بیابانی و نیمه بیابانی کشور رقم بزند که منابع لب‌شور و شور کافی، جهت احداث چنین سامانه‌هایی وجود دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

توسعه سامانه‌های نوین پرورشی برای آینده آبزی‌پروری کشور و در سطح بالاتر، امنیت غذایی ایران، یک ضرورت است چراکه رشد و توسعه پایدار و قابل توجه تولیدات آبزی‌پروری را باتوجه‌به محدودیت‌های بوم‌شناختی، محیط‌زیستی و اقتصادی موجود مقدور می‌سازد. در این میان و باتوجه‌به واقعیت‌های موجود کشور، در بین سامانه‌های توصیه شده، شاید بتوان وزن بیشتری را برای سامانه‌های بازگردشی، قفس و بیوفلاک قائل شد. بازمهندسی سامانه‌های باز کشور به بازگردشی (با درصدهای متفاوت بازگردش و تصفیه) می‌تواند گامی مهم در حفظ و توسعه تولیدات آبزی‌پروری به‌ویژه سردابی و خاویاری کشور باشد. ادامه توسعه استقرار قفس‌های دریایی در نوار ساحلی به‌ویژه در جنوب کشور می‌تواند گامی مهم در جهت افزایش تولید ماهیان دریایی با اهداف صادراتی باشد. با به‌کارگیری سامانه بیوفلاک در مناطق خشک و نیمه خشک کشور که با محدودیت منابع آبی روبه‌رو هستند و پرورش گونه‌هایی نظیر تیلاپیا و کپور معمولی که می‌توانند تغییرات محیطی گسترده را تحمل کنند، می‌توان گام مهمی در افزایش تولیدات آبزی‌پروری در استان‌های غیرساحلی برداشت.

پی نوشت‌ها

1-Blue revolution

2-Intagrated multi-trophic aquaculture system

منابع

آسمان نسب، بهزاد، و عشاق خسروشاهی، مریم. (۱۳۹۹). بررسی فرصت‌ها و چالش‌های سرمایه گذاری در شیلات بخش "پرورش ماهی در دریا (قفس)" در ایران. پنجمین کنفرانس بین‌المللی تحقیقات بین رشته‌ای در مدیریت، حسابداری و اقتصاد در ایران. دانشگاه علمی و کاربردی سازمان همیاری شهرداری‌ها، تهران. ایران.

اسحق‌زاده، حمید، و مرتضایی، رضا. (۱۳۹۷). وضعیت جهانی صنعت پرورش ماهیان دریایی در قفس. مجله شیل، ۶(۱)، ۱-۸.

حاجی بگلو، عباسعلی، جعفرقلی، مهسا، عالیه، ساناز. و امیرپور، زهره. (۱۳۹۷). مکانیسم سیستم مدار بسته در آبزی‌پروری. چهارمین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیطزیست. انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین، تهران. ایران.

خانجانی، محمدحسین، و جمال‌الدینی، ابراهیم. (۱۳۹۹). سیستم آکواپونیک: سیستمی در جهت تولید آبزی‌پروری پایدار و مصرف بهینه آب. دومین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالش‌های زیست محیطی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری. ایران.

رادخواه، علیرضا، ایگدری، سهیل، و صادقی‌نژاد ماسوله، ابراهیم. (۱۴۰۱). مروری بر فناوری‌های مورد استفاده جهت پالایش آب در سیستم‌های آبزی‌پروری با تأکید بر الگوی توسعه پایدار در ایران. آب و توسعه پایدار، ۹(۳)، ۱۲۷-۱۴۰. jwsd./10.22067 v9i3.2205.1150

روستا، حمیدرضا. (۱۳۸۸).آکواپونیك (كشت و پرورش توام ماهی و گیاه در سیستم مدار بسته با بازچرخانی آب)، انتشارات پلك. چاپ اول. تهران.

زاهدی، سعید، برخوردار، محسن، و طاهرپور، مجید. (۱۴۰۲). امنیت غذایی پایدار به کمک آبزی‌پروری پایدار با استفاده از سامانه‌های نوین آبزی‌پروری (قسمت اول): نقش قوانین و اسناد بالادستی. آب و توسعه پایدار، ۱۰(۱)، ۲۷-۳۶. doi: 10.22067/ jwsd.v10i1.2303-1228

سالارپور، ماشالله، داورپناه، مجتبی، و زارع، ق. (۱۴۰۰). بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری در بین کشاورزان منطقه سیستان. آب و توسعه پایدار، ۸(۴)، ۲۳-۳۲. https://doi. org/10.22067/jwsd.v8i4.2107.1064

قائدی، علیرضا، سرسنگی، حبیب، عالی محمودی، مزدک، و محمدی، محمد. (۱۴۰۱). دستوالعمل راه‌اندازی سیستم بیوفلاک به زبان ساده. دوفصلنامه علوم آبزی پروری پیشرفته، ۶(۱)، ۵۱-۶۱.

کردگاری، مهناز. (۱۳۹۸). پرورش ماهی در قفس: مشکلات، معایب و راه‌کارها. مجله ترویجی میگو و سخت پوستان، ۴(۱)، ۴۳-۴۵.

مرکز پژوهش‌ها مجلس شورای اسلامی. (۱۴۰۰). بررسی عملکرد دولت. ۵. بخش کشاورزی و منابع طبیعی (۱۷۴۹۸). تهران، ایران.

وزیرزاده، آریا. (۱۳۹۶). پرورش تیلاپیا در ایران: ناجی آبزی‌پروری یا مخرب محیط‌زیست، مجله شیل، ۵(۳)، ۱۰۴-۱۱۰.

Avnimelech, Y. (2012). Biofloc technology: a practical guide book. The World Aquaculture Society, 2nd Edition. Baton Rouge, Louisiana, United States.

Baganz, G.F., Junge, R., Portella, M.C., Goddek, S., Keesman, K.J., Baganz, D., Staaks, G., Shaw, C., Lohrberg, F., & Kloas, W. (2022). The aquaponic principle—It is all about coupling. Reviews in Aquaculture, 14(1), 252-264. doi: 10.1111/raq.12596

Barrington, K., Chopin, T., & Robinson, S. (2009). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 529, 7-46.

Cang, P., Zhang, M., Qiao, G., Sun, Q., Xu, D., Li, Q., Yuan, X., & Liu, W. (2019). Analysis of Growth, Nutrition and Economic Profitability of Gibel Carp (Carassius auratus gibelio ♀× C. carpio ♂) Cultured in Zero-water Exchange System. Pakistan Journal of Zoology, 51(2), 619. doi: 10.17582/journal.pjz/2019.51.2.619.630

Chopin, T. (2013). Aquaculture, integrated multi-trophic (IMTA). Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, 12, 542-564.

Cutajar, K., Falconer, L., Massa-Gallucci, A., Cox, R.E., Schenke, L., Bardócz, T., Sharman, A., Deguara, S., & Telfer T. C. (2022). Culturing the sea cucumber Holothuria poli in open-water integrated multi-trophic aquaculture at a coastal Mediterranean fish farm. Aquaculture, 550, 737881. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737881

Dauda, A. B., Natrah, I., Karim, M., Kamarudin, M. S., & Bichi, A. U. H. (2018). African catfish aquaculture in Malaysia and Nigeria: Status, trends and prospects. Fisheries and Aquaculture Journal, 9(1), 1-5. doi: 10.4172/2150-3508.1000237

De Schryver P., Crab R., Defoirdt T., Boon N. and Verstraete W. (2008). The basics of bioflocs technology: the added value for aquaculture. Aquaculture, 277, 125–137. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.019

De Schryver, P., & Verstraete, W. (2009). Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors. Bioresource technology, 100(3): 1162-1167. doi: 10.1016/j.biortech.2008.08.043

Deb, S., Noori, M. T., & Rao, P. S. (2020). Application of biofloc technology for Indian major carp culture (polyculture) along with water quality management. Aquacultural Engineering, 91, 102106. doi: 10.1016/j.aquaeng.2020.102106

Ebeling, J.M., & Timmons, M.B. (2010). Recirculating aquaculture. Cayuga Aqua Ventures. Ithaca New York, USA.

FAO. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. https://doi.org/10.4060/cc0461en

Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K.V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. Sustainability, 7(4), 4199-4224. doi: 10.3390/su7044199

Gutierrez-Wing, M.T., & Malone, R.F. (2006). Biological filters in aquaculture: trends and research directions for freshwater and marine applications. Aquacultural engineering, 34(3), 163-171. doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.08.003

Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T., & Jijakli, M.H. (2017). Strategic points in aquaponics. Water, 9(3), 182. doi: 10.3390/w9030182

Khanjani, M.H., Sajjadi, M.M., Alizadeh, M., & Sourinejad, I. (2016). Study on nursery growth performance of Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei Boone, 1931) under different feeding levels in zero water exchange system. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 15(4), 1465-1484.

Khanjani, M. H., Alizadeh, M., Mohammadi, M., & Aliabad, H. S. (2021). The effect of adding molasses in different times on performance of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) raised in a low-salinity biofloc system. Annals of Animal Science, 21(4), 1435-1454. doi:

131. doi: 10.1080/10454438.2013.788898

Megahed, M. E. (2010). The effect of microbial biofloc on water quality, survival and growth of the green tiger shrimp (Penaeus semisulcatus) fed with different crude protein levels. Journal of the Arabian Aquaculture Society, 5(2), 119-142.

Minabi, K., Sourinejad, I., Alizadeh, M., Ghatrami, E. R., & Khanjani, M. H. (2020). Effects of different carbon to nitrogen ratios in the biofloc system on water quality, growth, and body composition of common carp (Cyprinus carpio L.) fingerlings. Aquaculture International, 28, 1883-1898. doi: 10.1007/s10499-020-00564-7

Moss S. M., & Leung, P. 2007. Comparative cost of shrimp production: earthen ponds versus recirculating aquaculture systems. In P. Leung and C. Engle (eds.), Shrimp Culture: Economics, Marketing and Trade, Blackwell Publishing. 291-300. https://doi.org/10.1002/9780470277850.ch19

Naylor, R.L., Kishore, A., Sumaila, U.R., Issifu, I., Hunter, B.P., Belton, B., Bush, S.R., Cao, L., Gelcich, S., Gephart, J.A., Golden, C.D., Jonell, M., Koehn, J.Z., Little, D.C., Thilsted, S.H., Tigchelaar, M., & Crona, B. (20219). Blue foods demand across geographic and temporal scales. Nature Communications, 12, 5413. https://doi.org/10.1038/s41467-021-25516-4

Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A. H., Kraemer, G. P., Halling, C., Shpigel M., & Yarish, C. (2004). Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. Aquaculture, 231(1-4): 361-391. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.11.015

Pérez-Fuentes, J. A., Pérez-Rostro, C. I., &Hernández-Vergara, M. P. (2013). Pond-reared Malaysian prawn Macrobrachium rosenbergii with the biofloc system. Aquaculture, 400, 105-110. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.02.028

Pérez-Fuentes, J. A., Hernández-Vergara, M. P., Pérez-Rostro, C. I., & Fogel, I. (2016). C: N ratios affect nitrogen removal and production of Nile tilapia Oreochromis niloticus raised in a biofloc system under high density cultivation. Aquaculture, 452, 247-

10.2478/aoas-2021-0011

Khanjani, M.H., Mohammadi, A., & Emerenciano, M.G.C. (2022a). Microorganisms in biofloc aquaculture system. Aquaculture Reports, 26, 101300. doi: 10.1016/j.aqrep.2022.101300

Khanjani, M.H., & Sharifinia, M. (2022b). Biofloc as a Food Source for Banana Shrimp Fenneropenaeus merguiensis Postlarvae. North American Journal of Aquaculture, 84(4), 469-479. https://doi.org/10.1002/naaq.10261

Khanjani, M. H., Zahedi, S., & Mohammadi, A. (2022c). Integrated multitrophic aquaculture (IMTA) as an environmentally friendly system for sustainable aquaculture: functionality, species, and application of biofloc technology (BFT). Environmental Science and Pollution Research, 29(45), 67513-67531. doi: 10.1201/b17540

Khanjani, M. H., da Silva, L. O. B., Fóes, G. K., do Nascimento Vieira, F., Poli, M. A., Santos, M., & Emerenciano, M. G. C. (2023a). Synbiotics and aquamimicry as alternative microbial-based approaches in intensive shrimp farming and biofloc: Novel disruptive techniques or complementary management tools? A scientific-based overview. Aquaculture, 739273. doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.738757

Khanjani, M.H., Torfi Mozanzade, M., Sharifinia, M., & Emerenciano, M.G.C. (2023b). Biofloc: A sustainable dietary supplement, nutritional value and functional properties. Aquaculture, 562, 738757. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738757

Liu, H., Li, H., Wei, H., Zhu, X., Han, D., Jin, J., Yang, Y., & Xie, S. (2019). Biofloc formation improves water quality and fish yield in a freshwater pond aquaculture system. Aquaculture, 506, 256-269. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.03.031

Love, D.C., Fry, J.P., Genello, L., Hill, E.S., Frederick, J.A., Li, X., & Semmens, K. (2014). An international survey of aquaponics practitioners. PloS one, 9(7), e102662. doi: 10.1371/journal.pone.0102662

Mahanand, S.S., Moulick, S., & Rao, P.S. (2013). Water quality and growth of Rohu, Labeo rohita, in a biofloc system. Journal of Applied Aquaculture, 25(2), 121-

251. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.11.010

Pillay, T.V.R. (2004). Aquaculture and the environment. Second Edition. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9780470995730.fmatter

Price, C.S., & Morris Jr, J.A. (2013). Marine cage culture and the environment: Twenty-first century science informing a sustainable industry. NOAA/National Centers for Coastal Ocean Science, 164, 158P.

Ragnarsdottir, K.V., Sverdrup, H.U., & Koca, D. (2011). Challenging the planetary boundaries I: Basic principles of an integrated model for phosphorous supply dynamics and global population size. Applied Geochemistry. 26, S303–S306. doi: 10.1016/j.apgeochem.2011.03.088

Ren, J. S., Stenton-Dozey, J., Plew, D. R., Fang, J., & Gall, M. (2012). An ecosystem model for optimising production in integrated multitrophic aquaculture systems. Ecological Modelling, 246, 34-46. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2012.07.020

Skår, C.K., & Mortensen, S. (2007). Fate of infectious salmon anaemia virus (ISAV) in experimentally challenged blue mussels Mytilus edulis. Diseases of Aquatic Organisms, 74(1), 1-6. doi: 10.3354/dao074001

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and aquaculture technical paper, (589), I.

Summerfelt, S., Bebak-Williams, J., & Tsukuda, S. (2001). Controlled systems: water reuse and recirculation. In G. Wedermeyer (ed.), Fish hatchery management (second edition), Bethesda, MD: American fisheries society, 285-295.

Sverdrup, H. U., & Ragnarsdottir, K. V. (2011). Challenging the planetary boundaries II: Assessing the sustainable global population and phosphate supply, using a systems dynamics assessment model. Applied Geochemistry, 26, S307-S310. doi: 10.1016/j.apgeochem.2011.03.089

Thorarinsdottir, R.I. (2015). Aquaponics Guidelines. Haskolaprent. Reykjavik, Iceland.

Yep, B., & Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges–A review. Journal of Cleaner Production, 228: 1586-1599. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.290

Zappernick, N., Nedunuri, K. V., Islam, K. R., Khanal, S., Worley, T., Laki, S. L., & Shah, A. (2022). Techno-economic analysis of a recirculating tilapia-lettuce aquaponics system. Journal of Cleaner Production, 365, 132753. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.132753

Zhao, Z., Luo, L., Wang, C. A., Li, J., Wang, L., Du, X., and Xu, Q. (2018). Effects of organic carbon addition on water quality and growth performance of bottom-and filter-feeding carp in a minimum-water-exchange pond polyculture system. Fisheries Science, 84, 681-689. doi: 10.1007/s12562-018-1204-7