

معرفی سیستم آبراهه‌های درون حوضچه‌ای در آبی‌پروری

فائزه مرتضائی، بهرام فلاحتکار*

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.

*نویسنده مسئول falahatkar@guilan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲

چکیده

با توجه به اینکه تقاضا برای تولیدات آبی‌پروری همواره رو به افزایش است؛ اما توسعه این صنعت متنوع با کاهش منابع آبی و نواحی مناسب جهت پرورش محدود می‌شود. برای مقابله با این مشکلات، می‌توان از تأسیسات پرورشی متراکم مجهز به سیستم بازگردش و تصفیه مجدد آب بهره جست. یکی از این سیستم‌های جدید، آبراهه‌های درون حوضچه‌ای (In pond raceways: IPRs) هستند. IPRs از جمله تأسیسات مؤثر در مناطقی با مصرف بالای آب و کمبود نواحی مناسب پرورشی بوده که جزء سیستم‌های توأم محسوب می‌شوند. در حقیقت، این سیستم با تلفیق ویژگی‌های مختلف سایر سیستم‌های آبی‌پروری بر مشکلات و تنگناهای هر یک غلبه می‌کند. این تأسیسات در حال توسعه شامل چندین آبراهه مستطیلی بوده که درون حوضچه یا استخر نصب می‌شوند. طراحی IPRs به دلیل افزایش دسترسی جهت غذادهی، رقم‌بندی، برداشت و کنترل بیماری‌ها کارایی بیشتری نسبت به استخرهای خاکی و قفس داشته و در مقایسه با سایر سیستم‌ها، میزان برداشت و بهره‌وری در آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر است. این مطالعه، به مروری بر اجزای اصلی، ذخیره‌سازی، غذادهی و مدیریت پرورشی ماهیان در IPRs می‌پردازد.

واژگان کلیدی: آبراهه درون حوضچه‌ای، آبی‌پروری پایدار، جریان گردشی، سیستم‌های آبی‌پروری هیبرید.

مقدمه

امروزه، با افزایش تقاضا برای تولیدات حاصل از آبی‌پروری، روش‌های جدیدتری نیز جهت تولید گونه‌های مختلف ارائه شده که به‌نوبه خود نیازمند دسترسی به منابع آبی و مکان مناسب جهت بهره‌برداری هستند. پرورش متراکم ماهیان، استراتژی مهمی در مقابله با کمبود مکان و منابع آبی است (Li *et al.*, 2019). در آبی‌پروری، عامل تراکم می‌تواند بر انتخاب نوع سیستم پرورشی اثر گذار باشد. تراکم به‌نوبه خود تحت تأثیر عوامل مختلفی است؛ برای مثال، تراکم ذخیره هنگام پرورش در آب‌بندان، برابر با ۱۰ کیلوگرم در هکتار و در سیستم‌های مدار بسته معادل ۱۰۰ هزار کیلوگرم در هکتار (۱۰ کیلوگرم در متر مربع) می‌تواند باشد (Tidwell, 2012). علاوه بر این، دخالت انسان، انرژی ورودی، میزان کنترل عوامل زیستی و

آبی‌پروری، صنعتی بسیار وسیع و متنوع از لحاظ تعداد گونه و روش‌های پرورشی است. بر اساس آخرین آمار سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (FAO)، میزان تولیدات شیلاتی کل در جهان برابر با ۱۷۷/۸ میلیون تن بوده که ۸۷/۵ میلیون تن از آن توسط بخش آبی‌پروری تامین می‌شود (FAO, 2022). طبق این گزارش، گونه‌هایی از قبیل انواع کپورماهیان، تیلاپای نیل (*Oreochromis niloticus*)، گربه‌ماهیان و قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) به‌دلایلی همچون سهولت پرورش و قابلیت سازگاری با انواع تأسیسات پرورشی باز (پن و قفس)، نیمه بسته (مانند آبراهه‌های جریان‌دار و حوضچه‌ها) و بسته (سیستم‌های مدار بسته و توأم یا هیبرید)، بیشترین میزان تولیدات را به خود اختصاص داده‌اند (Tidwell, 2012).

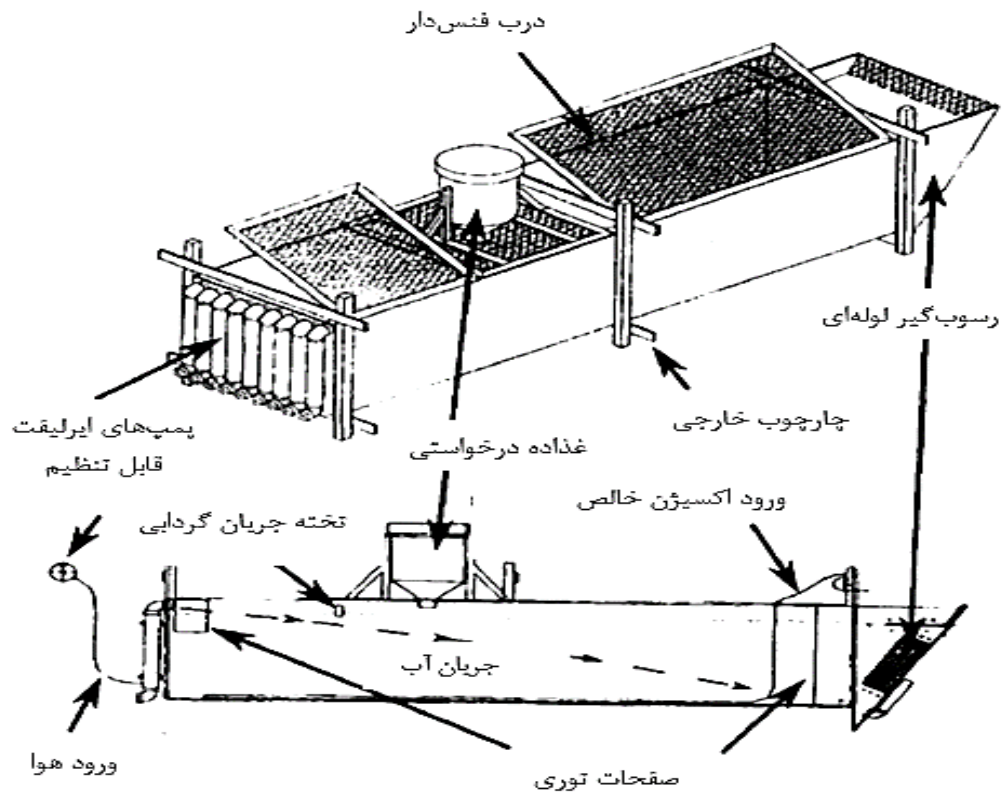
ساختار آبراهه‌های درون حوضچه‌ای: ایده قرارگیری ماهیان در یک محیط محصور قفس‌مانند و عبور آب از میان این فضاها، چندان جدید نیست و تاکنون طراحی‌های مختلفی در این خصوص ارائه و ثبت شده است (Fast, 1977; Long, 1990). ساختار کلی این سیستم شامل ذخیره‌سازی زیست‌توده ماهیان در یک یا چند آبراهه و جریان یافتن پیوسته آب، جهت حفظ شرایط مطلوب زیست‌محیطی و افزایش کارایی تغذیه است. IPR به دلیل داشتن قابلیت جمع‌آوری و خروج فضولات جامد در انتهای مسیر آبراهه توانایی افزایش ظرفیت نگهداری زیست‌توده ماهی را در کل سیستم دارد (شکل ۱) (Masser, 2012).

احداث این سیستم نسبتاً ساده است؛ بدین‌صورت که آبراهه‌ها از صفحات پلاستیکی $2/5$ تا 10 سانتی‌متر و یا چوبی به ضخامت $1/2$ سانتی‌متر تشکیل می‌شوند. این قطعات به یک چارچوب چوبی پرداخت‌شده متصل و از یک ساختار اسکله‌مانند معلق می‌شوند. توری پلاستیکی به ابعاد $2/54$ در $1/27$ سانتی‌متر اطراف دریچه پمپ‌ها و ناحیه تخلیه استفاده شده تا از فرار ماهیان جلوگیری شود. همچنین، توری سبب جداسازی آبراهه به بخش‌هایی جهت پرورش چندگونه‌ای و یا تفکیک اندازه‌های مختلف ماهیان خواهد شد (Masser, 1997).

پمپ‌ها دارای لوله PVC به قطر $7/6$ سانتی‌متر هستند که به صفحات پلاستیکی یا چوبی متصل شده و فضای مقابل آبراهه‌ها را پر می‌کنند. پمپ‌ها به‌صورت عمودی قرار گرفته تا با بالا و پایین بردن آب، میزان جریان را تنظیم کنند. در صورت نصب و طراحی صحیح، یک پمپ ایرلیفت (Airlift) ۳ اینچی می‌تواند تقریباً 230 لیتر آب را در هر دقیقه انتقال دهد و در این سیستم ۹ پمپ به‌ازای هر آبراهه بکار می‌روند. هوا نیز جهت عملکرد پمپ ایرلیفت توسط هواده دمنده تأمین می‌شود. یک هواده با قدرت یک اسب بخار می‌تواند حجم کافی اکسیژن را برای تقریباً 27 عدد ایرلیفت تأمین کند.

شیمیایی آب مانند دما و اکسیژن مطلوب و حذف کارآمد مواد دفعی در میزان تراکم و انتخاب سیستم مناسب اثرگذار هستند (Masser, 2012). با این حال، افزایش تراکم با مجموعه‌ای از مسائل مانند افزایش غلظت نیتروژن و آمونیاک (Farrelly et al., 2015)، مصرف بی‌رویه آب، آلودگی و بیماری ماهیان همراه است (Masser et al., 1995). امروزه از سیستم‌های توأم یا به اصطلاح هیبرید شامل آکواپونیک، آبراهه درون حوضچه‌ای (In-pond raceway system: IPR) و سیستم آبی‌پروری تفکیک شده (Partitioned Aquaculture System) برای مقابله با مشکلات به‌وجود آمده استفاده می‌شود که در این میان، آبراهه درون حوضچه‌ای به‌عنوان راهکاری مؤثر در جهت افزایش تولید ماهیان همراه با حداقل اثرات زیست‌محیطی و استفاده بهینه از آب مصرفی حوضچه‌های خاکی معرفی شده است (Li et al., 2019).

IPR شامل چندین آبراهه متصل بهم در یک حوضچه است که نواحی مختلفی جهت نگهداری ماهیان و تصفیه آب دارد. آبراهه‌ها جهت پرورش ماهیان خوراکی و ناحیه پالایش توسط ماهیان پالیده خوار و سایر موجودات آبی اختصاص می‌یابد (Brown et al., 2014). با استفاده از این روش، کنترل مواد دفعی ماهیان در طول پرورش آسان‌تر است. افزودن پمپ و تجهیزات جمع‌آوری و رسوب ضایعات به این سیستم اجازه می‌دهد تا مواد دفعی و غذای باقی‌مانده در پایین‌دست ناحیه تصفیه جمع‌آوری و به‌راحتی حذف شوند. اگرچه، هدف اولیه تمامی سیستم‌های نوین، افزایش میزان تولید برداشت است اما IPR در برخی نواحی تحت فشارهای زیست‌محیطی و اقتصادی مفید خواهد بود (Brown et al., 2011). در مطالعه حاضر، به بررسی ساختار و تجهیزات آبراهه‌های درون حوضچه‌ای و نحوه پرورش و مدیریت ماهیان در این سیستم پرداخته شده است.

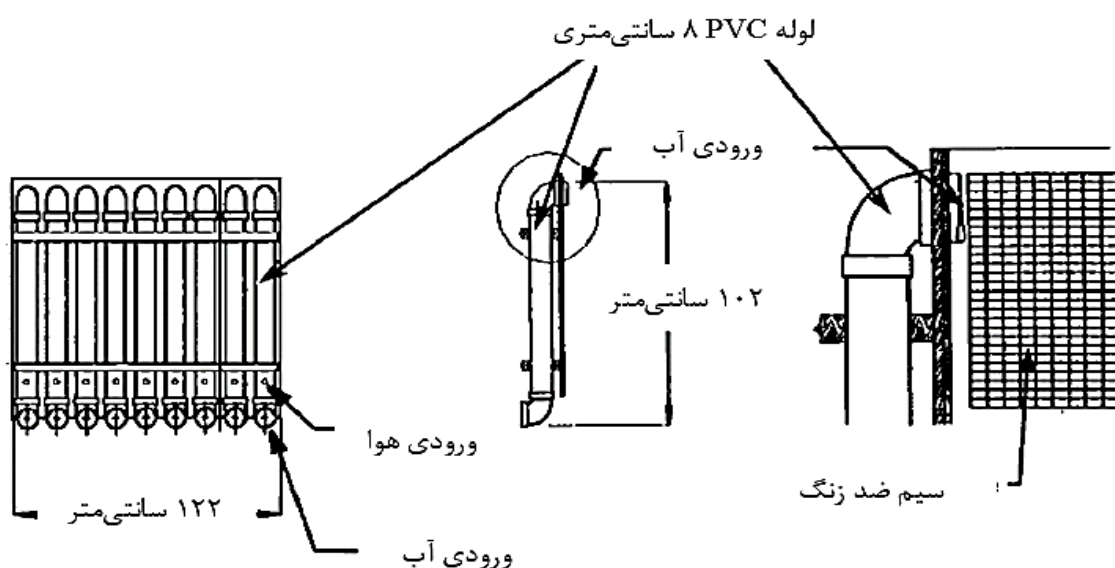


شکل ۱- تصویری از اجزای تشکیل‌دهنده سیستم آبراهه درون حوضچه‌ای (Masser, 2012).

جمع‌آوری ضایعات از طریق رسوب‌گیرهای لوله‌ای شکل یا مخروطی متصل به بخش پشتی آبراهه انجام می‌شود. با این روش، مقادیری از مواد دفعی تولیدی ماهیان جمع‌آوری و از سیستم حذف می‌شود و کمترین تأثیر منفی را بر کیفیت آب سیستم پرورشی دارد. بررسی مواد زائد خشک شده نشان داده که درصد بالایی از نیتروژن و فسفر می‌تواند از این طریق جمع‌آوری شود (Yoo et al., 1995).

گونه‌های پرورشی، تراکم ذخیره، غذادهی و مدیریت پرورشی ماهیان: گونه‌هایی که در سیستم IPR پرورش می‌یابند شامل گربه‌ماهی کانالی (*Ictalurus punctatus*)، گربه‌ماهی آبی (*I. furcatus*) و دورگه آن‌ها ($I. punctatus \text{♀} \times I. furcatus \text{♂}$)، تیلاپپای نیل، دورگه باس مخطط ($Morone chrysops \times$)، خورشید ماهی (*M. saxatilis*)، سوف زرد (*Perca flavescens*)، قزل‌آلای رنگین‌کمان، کپور علفخوار (*Ctenopharyngodon*) و کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)

تعویض آب می‌تواند از ۳ تا ۹ بار در هر ساعت بسته به ارتفاع لوله‌های تخلیه در سطح آب انجام شود. توانایی کاهش میزان جریان زمانی مهم است که ماهیان در اندازه انگشت‌قد بوده و دمای آب بسیار پایین است. تخته جریان گردابی (Eddy board) در عرض آبراهه و در فاصله ۱/۸ متری از خروجی ایرلیفت قرار دارد. این تخته جریان آب را به پایین‌دست و سمت مخالف سوق داده تا تغذیه یا غذادهی به راحتی صورت گیرد. غذا پشت جریان گردابی باقی‌مانده و توسط جریان‌های مخالف به دام می‌افتد؛ از این‌رو، به خارج از آبراهه‌ها تخلیه نمی‌شود (شکل ۲) (Masser, 2012). به‌جز انتقال حجم وسیع آب، هوادهی نیز از مزایای دیگر سیستم‌های ایرلیفت است. اگرچه، پمپ‌های ایرلیفت جهت انتقال اکسیژن کارآمد نیستند ولی زمانی که غلظت اکسیژن محلول کاهش می‌یابد، مفید تلقی می‌شوند (Boyd, 1990). در مطالعه‌ای، پمپ‌های ایرلیفت میزان اکسیژن محلول را در مقادیر بالای ۳ میلی‌گرم بر لیتر حفظ کردند (Masser, 2004).



شکل ۲- تصویری از بخش‌های مختلف و اتصالات پمپ ایرلیفت (Masser, 2012).

متوقف و آبراهه‌ها در کسری از ثانیه با کمبود اکسیژن مواجه می‌شوند. از این‌رو، وجود سیستم‌های پشتیبان و برق اضطراری جهت ارتقای کارایی این سیستم ضروری است.

این تجهیزات و سیستم‌های هشداردهنده مشابه سیستم‌های مداربسته هستند. سیستم اکسیژن رسانی ساده که در طراحی IPR ناحیه آبرن ایالت آلاباما در آمریکا بکار می‌رود از سیلندرهای حاوی اکسیژن خالص متصل به یک سوئیچ برقی سلونوئید تشکیل شده است. زمانی که سوئیچ بسته است، ورود اکسیژن متوقف شده مگر اینکه جریان الکتریسیته خاموش شود. در این صورت، سوئیچ سلونوئید باز شده و اجازه می‌دهد تا اکسیژن خالص توسط لوله‌هایی با روزنه ریز به درون آبراهه وارد شود (Hawcraft, 1994). این سیستم می‌تواند به‌درستی شرایط ماهیان را به‌مدت چندین ساعت یا تا زمانی که برق اصلی برقرار شود در IPR حفظ کند.

یکی دیگر از مزایای سیستم پشتیبانی اکسیژن در IPR، هنگام کنترل بیماری است. زمانی که هواده و به‌تبع آن جریان آب متوقف شود، سیستم اکسیژن‌دهی اضطراری می‌تواند شرایط مطلوب را برای ماهیان برقرار سازد. آبراهه سپس تبدیل به

هستند (Masser and Lazur, 1997; Fatima et al., 2021; Wang et al., 2020; Lu et al., 2022). پرورش چندگونه‌ای گربه‌ماهی کانالی و تیلاپیا نیز در این سیستم موفقیت آمیز بوده است (Bernardez, 1995). پرورش تک‌گونه‌ای و چندگونه‌ای به پرورش‌دهنده این امکان را می‌دهد تا برای تطبیق با شرایط مختلف بازار هدف خود، آزادی عمل بیشتری داشته باشد.

میزان ذخیره‌سازی در IPR از ۳۲۶ تا ۵۴۳ ماهی به‌ازای هر متر مکعب از حجم محیط کشت متغیر است. غذادهی با جیره کامل که تأمین‌کننده تمامی نیازهای غذایی بوده، در این گونه از سیستم‌ها ضروری است زیرا ماهیان از عوامل طبیعی موجود در محیط استفاده نمی‌کنند. استفاده از جیره‌های شناور به ارزیابی بیشتر فعالیت تغذیه‌ای ماهیان و به دام افتادن غذا در بخش پشتی جریان گردابی کمک می‌کند. در صورت غذادهی دستی نیز نرخ تغذیه روزانه بر مبنای جدول‌های نیازمندی رایج هر گونه تعیین می‌شود، اگرچه، استفاده از غذادهای درخواستی در کاهش وقت و انرژی مؤثر است (Bernardez, 1995).

IPR یک سیستم وابسته به انرژی است؛ بدین معنی که اگر هواده‌ها دچار نقص شوند جریان آب

جدول ۱- مقایسه سیستم‌های مختلف پرووری شامل IPR، قفس و استخرهای خاکی جهت تولید گربه‌ماهی از نقطه‌نظر اقتصادی (Bernardez, 1995).

عوامل مختلف	استخرهای خاکی	قفس پرووری	IPR
میزان تولید (کیلوگرم)	۱۷۳۰	۱۲۸۶	۲۴۳۳
تلفات (%)	۶	۱۰	۱۰
ضریب تبدیل غذایی	۱/۸	۱/۶	۱/۴
میزان پروتئین مصرفی (%)	۳۲	۳۶	۳۶
شاخص‌های اقتصادی (دلار آمریکا)			
هزینه‌های متغیر	۳۱۳۵	۲۳۹۱	۴۱۶۰
هزینه‌های ثابت	۷۸۸	۸۵۰	۱۱۱۱
مجموع هزینه‌ها	۳۹۲۳	۳۲۴۱	۵۲۷۱
هزینه سر به سر (دلار به ازای هر کیلوگرم)			
جهت پوشش هزینه‌های متغیر	۱/۸۱	۱/۸۶	۱/۷۱
جهت پوشش مجموع هزینه‌ها	۲/۲۷	۲/۵۲	۲/۱۷

ذخیره و نرخ تولید به‌ازای واحد سطح در مقایسه با سیستم‌های باز مانند قفس خواهد شد. بزرگ‌ترین مشکل آبراهه‌های قدیمی تخلیه مداوم مواد دفعی به آب‌های سطحی منطقه است. این امر سبب بروز نگرانی عمومی و اعمال مقررات سختگیرانه زیست‌محیطی شده است. همچنین، افزایش جریان و سرعت آب در آبراهه‌ها سبب کاهش غلظت مواد دفعی و ایجاد مشکلاتی جهت جمع‌آوری و یا تجزیه آن‌ها پیش از تخلیه به محیط اطراف شده است. نکته حائز اهمیت در این سیستم که نوعی مزیت نیز محسوب می‌شود، کنترل جریان آب با هدف بهبود کیفیت، افزایش تراکم و تولید به‌ازای واحد سطح است. در این ارتباط، قفس‌های پرووری علی‌رغم بهره‌گیری از حجم وسیع آب، به‌دلیل بروز برخی بیماری‌ها، کاهش کیفیت آب منطقه و رشد ماهیان مشکل‌آفرین تلقی می‌شوند. این مسائل بیشتر با ضعف در سیستم گردش آب قفس‌ها مرتبط است (Masser and Woods, 2008). یکی دیگر از مزایای این سیستم، امکان صید مکانیزه و بدون نیاز به تخلیه آب حوضچه است که این امر نیز بهره‌وری آب را در این سیستم افزایش می‌دهد.

سیستم‌های بکار رفته در دانشگاه آبرن ایالت آلاباما معادل ۱۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب گربه‌ماهی و تیلایا تولید می‌کنند (Masser, 1999). این

مخزنی با شرایط ثابت شده که در آن ماهیان تحت حمام با مواد مختلف مانند پرمنگنات پتاسیم یا فرمالین جهت کنترل و درمان قرار می‌گیرند. این تیمارهای درمانی ارزان بوده و روشی مؤثر جهت مقابله با بیماری‌های باکتریایی یا انگلی محسوب می‌شوند (Masser, 2012).

مقایسه با سایر سیستم‌های پرووری: به‌طور کلی، بسیاری از محققان و آبی‌پروران در جستجوی راهی برای به‌کارگیری حجم عظیم آب‌های طبیعی مانند رودخانه، خلیج و یا مصب در تولید ماهیان هستند. این در حالی است که آبراهه یا کانال‌های طولیل سنتی باید مجاور چشمه‌ها و جویبارها و در شیب مناسبی احداث شوند که این منابع آبی اغلب محدود بوده و یا در دسترس نیستند. سیستم IPR از نظر ساختار مانند قفسی است که می‌تواند در تمامی پیکره‌های آبی قرار گیرد و محدودیتی از این نظر وجود ندارد. با این حال، اگر ماهیان با تراکم بالایی ذخیره‌سازی شوند، میزان اکسیژن مصرفی باید توسط هوادهی مکانیکی و ورود اکسیژن خالص به سیستم تأمین شود (Masser, 2012).

سیستم‌های جریان‌دار مانند آبراهه‌ها نسبت به سایر سیستم‌های پرووری اثرات کمتری بر کیفیت آب می‌گذارند؛ بدین ترتیب که بهبود گردش آب سبب حذف متابولیت‌ها از محیط و افزایش تراکم

ذخیره‌سازی و در استخر خاکی، ۸۵۰ قطعه ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) با میانگین وزنی ۵۰ گرم، ۱۵۰ قطعه ماهی سرگنده (*H. nobilis*) با میانگین وزنی ۲۰ گرم، ۳۰۰ قطعه ماهی کپور معمولی با میانگین وزنی ۳۰ گرم و ۱۵۰ قطعه ماهی آمور با میانگین وزنی ۸۰ گرم رهاسازی شد. غذادهی به میزان ۳ بار در روز توسط اکسترودر شناور با ۳۰٪ پروتئین انجام شد. مواد دفعی ته‌نشین شده یک نوبت در روز توسط پمپ سانتریفیوژ در انتهای آبراهه خارج شد. در انتهای دوره اول پرورش مقدار ۳۳۴۰ کیلوگرم کپور معمولی با میانگین وزنی ۱۲۸۰ گرم و بازماندگی ۸۷ درصد از آبراهه و در انتهای دوره دوم مقدار ۳۱۱۰ کیلوگرم کپور معمولی با میانگین وزنی ۱۱۴۰ گرم و بازماندگی ۹۱ درصد از آبراهه برداشت شد. پس از تخلیه و صید استخر، ۱۱۰۵ کیلوگرم ماهی کپور نقره‌ای با میانگین وزنی ۱۳۹۰ گرم، ۳۶۰ کیلوگرم ماهی سرگنده با میانگین وزنی ۲۴۸۰ گرم، ۱۵۰ کیلوگرم ماهی آمور با میانگین وزنی ۱۳۲۰ گرم، ۴۲۰ کیلوگرم ماهی کپور معمولی با میانگین وزنی ۱۵۵۰ گرم برداشت شدند. در مجموع ۸۴۸۵ کیلوگرم ماهی از کل سیستم برداشت شد که معادل بیش از ۱۹/۳ تن در هکتار بود (شرافتمند، ۱۳۹۷).

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که این سیستم‌ها به دلیل بکارگیری ترکیبی از اجزای پیچیده فیزیکی، زیستی و شیمیایی، کارایی و قابلیت کنترل و مدیریت بیشتری نسبت به استخرهای خاکی و باز سنتی دارند. در ابتدای دهه ۱۹۹۰، طراحی سیستم آبراهه درون حوضچه‌ای در دانشگاه آبرن توسعه یافت. در این نوع سیستم، آب توسط پمپ‌های ایرلیفت به درون ناحیه پرورشی جعبه‌مانند جریان می‌یابد و آبراهه مستطیلی‌شکل از یک اسکله شناور معلق است. پمپ‌های ایرلیفت در بخش‌های انتهایی آبراهه‌ها قرار داشته که آب توسط آن‌ها به سطح پمپاژ و همزمان از طرف مخالف آن‌ها در کف آبراهه خارج می‌شود. آب از محفظه رسوب‌گیر تخلیه و

تراکم از طریق برخی از سیستم‌های RAS و یا قفس‌های پرورشی نیز حاصل شده اما در تمامی آن‌ها رایج نیست. جدول ۱، امکان‌سنجی اقتصادی این سیستم‌ها را نشان داده است (Bernardez, 1995) که IPR کارایی بیشتری نسبت به استخرهای خاکی و قفس داشته زیرا دسترسی برای غذادهی، رقم‌بندی، برداشت و کنترل بیماری‌ها در آن تسهیل شده است. همچنین، هزینه‌های تولید در آن نسبت به سیستم رایج RAS نیز کاهش یافته است (Brown et al., 2010). به دلیل وجود رسوب‌گیرهای غیرفعال، سیستم‌های IPR از نظر زیست‌محیطی جهت حذف مواد زائد جامد نسبت به قفس، استخرها و آبراهه‌های قدیمی در اولویت قرار دارند. مانند سایر سیستم‌ها، IPR نیز بر فرآیندهای طبیعی آب جهت تجزیه مواد زائد مایع و جامد متکی است که توسط سیستم‌های غیرفعال حذف نمی‌شوند. سیستم‌های مداربسته با داشتن فیلترهای زیستی و تجزیه مواد جامد فعال از کارایی بیشتری در این زمینه برخوردار هستند (Losordo et al., 1999).

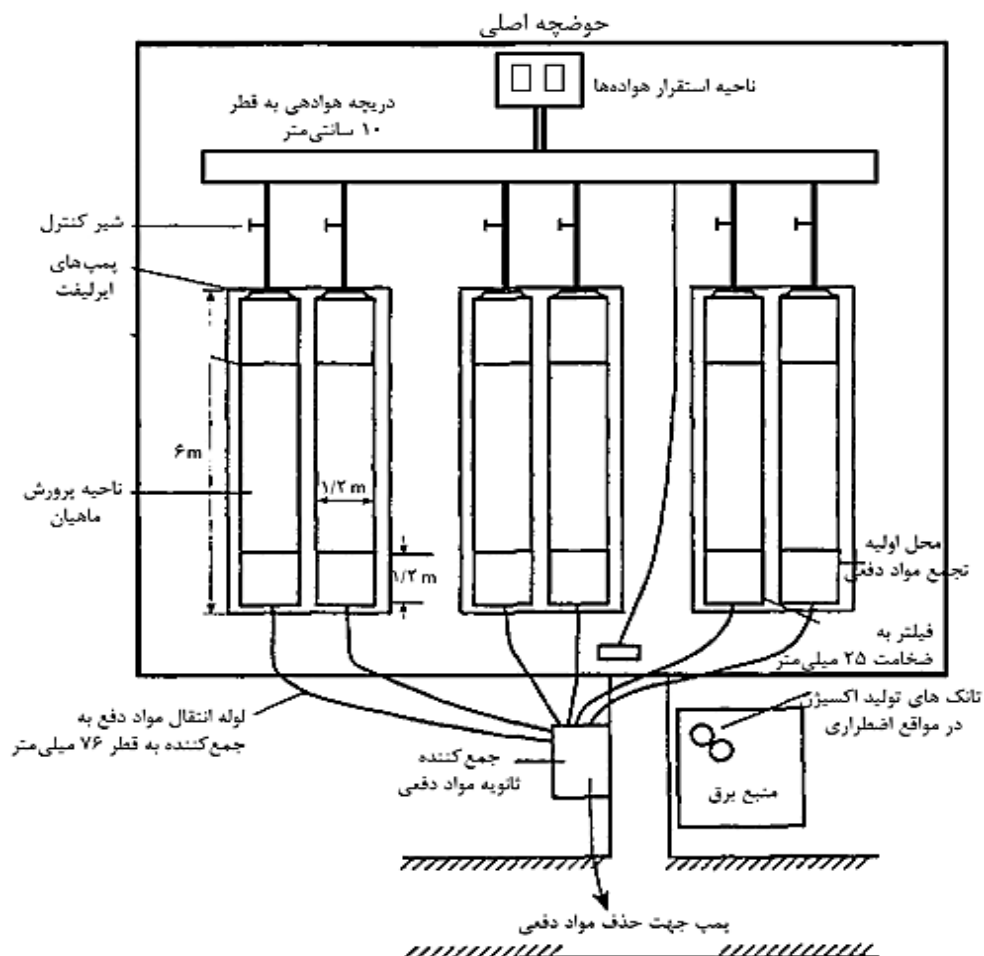
مطالعات انجام شده در داخل و خارج کشور:
نمونه‌ای از IPRs در مزرعه پرورش ماهی به مساحت ۴۴۰۰ متر مربع واقع در شهرستان شوشتر در استان خوزستان اجرا شده است. این سیستم دارای یک آبراهه به ابعاد $12 \times 12 \times 5$ متر، یک پمپ ایرلیفت با قدرت ۲ اسب بخار و توانایی ۳۰۰ لیتر بر ثانیه آب، سه عدد هواده تزریقی با توان یک اسب بخار در سه گوشه استخر و یک کانال جمع‌آوری مواد دفعی با قابلیت تخلیه توسط پمپ بود. ۹ متر ابتدایی از ۱۲ متر طول مفید آبراهه به‌منظور نگهداری ماهی به‌وسیله توری فلزی محصور شده و یک متر انتهایی برای منطقه سکون جهت ته‌نشینی فضولات جامد در نظر گرفته شد. درون آبراهه در دوره اول تعداد ۳۰۰۰ قطعه بچه ماهی کپور معمولی با میانگین وزنی ۱۹۰ گرم و در دوره دوم نیز تعداد ۳۰۰۰ بچه ماهی کپور معمولی با میانگین وزنی ۱۲۰ گرم

آب را به گردش در آورده و اکسیژن زیادی به شکل همزمان به سیستم پرورشی انتقال دهد. این ویژگی‌ها سبب محبوبیت سیستم APFD در مناطقی نظیر چین شده است (Li et al., 2019).

Brown و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی کارایی سیستم IPR در یک استخر خاکی قدیمی ۲/۴ هکتاری که از منبع آب چاه و رواناب‌های حوضه آبخیز بهره‌مند بود، پرداختند. این سیستم شامل شش آبراهه بوده که دیواره‌های مشترکی از جنس بتن داشتند. گربه‌ماهیان درون واحد پرورشی توزیع شدند که دارای موانعی در انتهای خود بوده و عرض هر آبراهه را پوشش می‌دادند. هر بخش دارای چارچوبی از لوله‌های آلومینیوم به مساحت ۳/۸ سانتی‌متر مربع و ضخامت ۰/۳۲ سانتی‌متر است. فنس‌هایی از جنس استیل و روکش PVC با چشمه‌ای معادل ۰/۱۵ سانتی‌متر به چارچوب متصل بودند. البته اندازه چشمه بسته به تراکم ماهی و اندازه آن‌ها متغیر بود. دو مسیر رفت و آمد یا راهرو به طول ۳۰/۴۸ متر و ۰/۷۶ متر عرض در عرض هر آبراهه تعبیه شد. راهروی اول مستقیم در بالادست جریان ورودی آب واحد پرورشی و راهروی دوم در ۷/۷ متر پایین دست واقع شد. تراکم ماهیان در هر آبراهه بین ۱۲ هزار تا ۳۰ هزار بچه‌ماهی انگشت‌قد با میانگین وزنی ۵۹ و ۴۱۸ گرم بود. پس از یکسال پرورش، میانگین بازماندگی برابر با ۸۳/۷٪ در تمامی آبراهه‌ها گزارش شد و ۴۹۹۱۳ کیلوگرم از این استخر و یا به عبارتی ۲۰۵۴۰ کیلوگرم به‌ازای هر هکتار ماهی برداشت شد. در سایر بخش‌های سیستم (حوضچه اصلی) که به شکل توأم ماهی پاروپوزه (*Polyodon spathula*) و تیلپیا پرورش یافتند نیز ۶۳۴۵ کیلوگرم به‌ازای هکتار برداشت شد. نتایج این بررسی نشان‌دهنده پتانسیل بالای تولید گربه‌ماهیان به‌همراه کشت چندگونه‌ای در حوضچه نسبت به روش‌های سنتی آبی‌پروری این گونه‌ها بود و کارایی غذایی به‌دلیل مصرف مجدد مواد دفعی توسط گونه پالیده‌خوار افزایش یافت. بهینه‌سازی نسبت درست

سپس دوباره به درون بدنه اصلی جریان می‌یابد (Masser, 1997). تحقیقات در مورد سیستم IPR از اواخر دهه ۱۹۹۰ با تلاش جهت توسعه روش‌های جدید آغاز شد (Masser, 2004). ساختار اولیه و پایه آن شامل آبراهه‌ای معلق حاوی تراکم مشخصی از بچه‌ماهیان انگشت‌قد گربه‌ماهی کانالی است. پمپ‌های ایرلیفت آب درون حوضچه را در طول واحد پرورشی به جریان درآورده و از یک سیستم معین نیز جهت حذف مواد زائد ماهیان از انتهای آبراهه‌ها استفاده می‌شود (Bernardez, 1995; Wilcox, 1998). اگرچه، سیستم اصلی در تحقیقات موفقیت‌آمیز نشان می‌داد اما دارای معایبی مانند جریان نامشخص آب درون آبراهه‌ها و کارایی پایین حذف مواد دفعی بود. پس از سال‌ها تحقیق و توسعه، مشکل جریان ناخواسته آب توسط بکارگیری چند پمپ ایرلیفت متصل به شیر چندراهه و واجد یک فشارشکن برطرف شد (Masser and Lazur, 1997).

در طراحی IPR برخی نوآوری‌ها و تغییرات جهت افزایش نرخ تعویض آب و غلظت اکسیژن اعمال شد که یکی از آن‌ها استفاده از ابزار هوادهی مبتنی بر جریان پیستونی یا پلاگ (Aeration plug-flow device: APFD) است. APFD شامل یک دیواره منحنی‌شکل و مجموعه‌ای از لوله‌های تولیدکننده فوم یا حباب بسیار ریز هستند که در ابتدای ورودی هر آبراهه تعبیه شده و لوله‌ها در عمق خاصی شناور می‌مانند. بدین ترتیب، هوا از کمپرسور خارجی به درون لوله‌ها جریان یافته و حباب‌های بسیار ریزی را ایجاد می‌کند. حباب‌های شناور در بالای دیواره مسدود شده و دچار تغییر مسیر می‌شوند و از این رو، جریان آب از پایین به بالا و از ورودی آبراهه به خروجی حوضچه تصفیه تغییر می‌کند. این امر سبب ایجاد جریان چرخشی در IPR می‌شود و توده‌ای از اکسیژن بین حباب‌های ریز و آب ایجاد می‌شود که در پی آن غلظت اکسیژن افزایش می‌یابد. IPR مجهز به APFD قادر است تا



شکل ۳- طرحی شماتیک از سیستم آبراهه درون حوضچه‌ای شامل بخش‌های مختلف (Yoo et al., 1995).

ضایعات و مواد دفعی در سیستم‌های IPR و بهبود کارایی این سیستم در تولید گونه‌های مختلف با تراکم و شیوه‌های مختلف غذایی صورت گیرد. بکارگیری سیستم آبراهه درون حوضچه‌ای در ایران: براساس آمارهای به‌دست آمده میزان تولیدات حاصل از صنعت آبی‌پروری در ایران در تمامی سیستم‌ها برابر با ۵۵۳۳۱۸ تن است (سازمان شیلات ایران، ۱۳۹۹). با این حال کشور ایران به‌دلیل دارا بودن اقلیم نیمه‌خشک همواره با مشکل کمبود منابع آبی مناسب در بخش کشاورزی و آبی‌پروری مواجه بوده است. به‌همین دلیل، بهره‌گیری از سیستم‌های بازگردش آب نه‌تنها به مصرف بهینه آب کمک کرده، بلکه به افزایش بازدهی و تولیدات به‌ازای سطح کشت می‌انجامد (فلاحتکار و راهداری، ۱۳۹۶). از میان تأسیسات بکاررفته در سیستم‌های متراکم،

گربه‌ماهی به پاروپوزه و تیلاپیا یا نسبت تولید گربه‌ماهی در آبراهه به استخر و طول دوره پرورش می‌تواند کارایی سیستم و مواد مغذی و در کل بهره‌وری را افزایش و اثرات منفی مواد دفعی خروجی را بر محیط کاهش دهد.

بر اساس مطالعات انجام گرفته، این سیستم به نسبت پرورش در حوضچه‌های خاکی و قفس، صرفه اقتصادی بالاتری داشته و به‌علت امکان دفع فضولات به شکل کنترل شده از نظر زیست‌محیطی نیز توصیه می‌شود (Brown et al., 2010). مدل‌های اصلاح شده این سیستم اکنون در نقاط مختلفی از آسیا نیز توسعه یافته و گفته می‌شود که ایالات متحده دارای ۱۲ مزرعه پرورشی است که از IPR استفاده می‌کنند (Jia et al., 2013). با این حال، تحقیقات زیادی باید در زمینه روش‌های اقتصادی کاهش

پرورشی ایجاد می‌شود نیز می‌تواند تولیدات آبی پروری را کاهش داده و بر اکوسیستم طبیعی تأثیر منفی بگذارد (Lemarie et al., 1998). سیستم‌های پرورشی توأم مانند آبراهه درون حوضچه‌ای، با بهره‌گیری از اقدامات مدیریتی و اجازه دادن به فرآیندهای طبیعی جهت تجزیه و انتقال مواد مغذی سبب کاهش تخلیه آنها به محیط خواهند شد. افزون بر ظرفیت بالای IPRs در افزایش تولیدات ماهی، با مدیریت صحیح نیازی به تعویض نبوده که این امر موجب افزایش پایداری محیط آبی و پیش‌بینی میزان تولیدات می‌شود. تمرکز ماهی در آبراهه به همراه جریان پیوسته آب، تراکم بالاتر ذخیره‌سازی، کاهش نیروی انسانی مورد نیاز، سهولت در غذادهی و درمان بیماری‌ها و جمع‌آوری مواد دفعی از مزیت‌های این سیستم به نسبت روش‌های دیگر است. در هر صورت، IPR از کارایی بالایی در آبی پروری برخوردار بوده و می‌تواند با توسعه مداوم، جایگزین مناسبی برای استخرهای پرورشی و روش‌های سنتی تولید ماهیان مختلف باشد.

استفاده از کانال‌های دراز و یا آبراهه‌ای در کشور به سالیان گذشته باز می‌گردد و امروزه گونه‌هایی از آبیان در این نوع تأسیسات پرورش می‌یابند. با این حال، با استفاده از تأسیسات نوین مانند آبراهه درون حوضچه‌ای مانند آنچه که در مطالب فوق بیان شد می‌توان به برخی از معایب آبراهه‌ها غلبه و میزان برداشت را افزایش داد. از طرفی، این سیستم به دلیل تجزیه و تخلیه کارآمد مواد آلی و دفعی می‌تواند از نظر زیست‌محیطی دارای مزایای فراوانی باشد. شکل ۳ نمایی از این تأسیسات به همراه ذکر تجهیزات و جزئیات آن را نشان می‌دهد که می‌توان با الگوبرداری از آن، سیستم مربوطه را در کشور به اجرا درآورد.

نتیجه‌گیری

توسعه آبی پروری در آینده می‌تواند به دلیل کمبود منابع آبی و مکان مناسب تحت تأثیر قرار گرفته و محدود شود (Naylor et al., 2000; Brown et al., 2010). آلودگی زیست‌محیطی که عمدتاً در پی افزایش میزان نیتروژن و فسفر در خروجی تأسیسات

منابع

- Birmingham Publishing Co., Birmingham, AL, USA. 482 p.
- Brown T.W., Boyd C.E., Chappell J.A. 2012. Approximate water and chemical budgets for an experimental, in-pond raceway system. *Journal of the World Aquaculture Society* 43, 526-537.
- Brown T.W., Hanson T.R., Chappell J.A., Boyd C.E., Wilson Jr. D.S. 2014. Economic feasibility of an in pond raceway system for commercial catfish production in West Alabama. *North American Journal of Aquaculture* 76, 79-89.
- Brown T.W., Chappell J.A., Boyd C.E. 2011. A commercial-scale, in-pond raceway system for Ictalurid catfish production. *Aquacultural Engineering* 44, 72-79.
- Brown T.W., Chappell J.A., Hanson T.R. 2010. In-pond raceway system demonstrates economic benefits for
- سالنامه آماري شيلات ايران، ۱۳۹۹-۱۳۹۴. ۱۳۹۹.
- سازمان شيلات ايران. معاونت برنامه ريزي و توسعه مديریت، دفتر برنامه و بودجه، ۶۴ صفحه.
- شرافتمند س. ۱۳۹۷. آبراهه درون حوضچه‌ای برای پرورش متراکم کپور معمولی. همایش ملی منطقه‌ای آبی پروری مدیریتی و ارتقای بهره‌وری منابع آب، اهواز، صفحات ۳۳-۳۱.
- فلاح‌تکار ب.، راهداری ع. ۱۳۹۶. آبی پروری در مناطق خشک و نیمه خشک. انتشارات تحقیقات آموزش کشاورزی، تهران، ۲۹۸ صفحه.
- Bernardez R.G. 1995. Evaluation of an in-pond raceway system and its economic feasibility for fish production. Master's thesis, Auburn University, Auburn, Alabama, USA.
- Boyd C.E. 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Alabama, USA.

- component options. Southern Regional Aquaculture Center Publication No. 453. USDA, USA.
- Lu J., Li S., He X., Tang R., Li D. 2022. An in-pond tank culture system for high-intensive fish production: Effect of stocking density on growth of grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Valenciennes, 1844) and blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala* Yih, 1955). *Aquaculture* 549, 737808.
- Masser M.P., Jensen J.W., Crews J.R. 1991. Channel catfish production in ponds. In Alabama cooperative extension service, ANR-195. Auburn, Alabama, USA.
- Masser M. 2012. *In-pond Raceways*. In: J.H. Tidwell (ed). *Aquaculture production systems*. John Wiley and Sons. New York, USA. pp: 387-394
- Masser M.P., Lazur A. 1997. In-pond raceways. *Aquaculture Production Systems* 170, 387-394.
- Masser M.P. 1997. In-pond raceways. Southern Regional Aquaculture Center Publication No. 170. Mississippi State University, Stoneville, MS, USA.
- Masser M.P. 1999. *Cages and In-Pond Raceways as Sustainable Aquaculture in Watershed Ponds*. In: R.M. Timm and S.L. Dann (eds). *Proceedings of the Ninth National Extension Wildlife, Fisheries, and Aquaculture Conference*. pp: 171-180.
- Masser M.P. 2004. *Cages and in-pond raceways*. In: C.S. Tucker, J.A. Hargreaves (eds). *Biology and culture of channel catfish*. Elsevier Scientific, Amsterdam. pp: 530-544
- Masser M.P., Woods, P. 2008. Cage culture problems. Southern Regional Aquaculture Center Publication No. 165. Mississippi State University, Stoneville, MS, USA.
- Naylor R.L., Goldburg R.J., Primavera J.H., Kautsky N., Beveridge M., Clay J., Folke C., Lubchenco, J., Mooney H., Troell M. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405, 1017-1024.
- Tidwell J.H. 2012. *Characteristics and Categories of Aquaculture Production Systems*. In: J.H. Tidwell (ed). *Aquaculture Production Systems*. John Wiley and Sons. Oxford, UK. pp: 64-78.
- Wang Y., Ni J., Nie Z., Gao J., Sun Y., Shao N., Li Q., Hu J., Xu P., Xu G. 2020. Effects of stocking density on growth, catfish production. *Global Aquaculture Advocate* 13, 18-21.
- Engle C.R., Kumar G., van Senten J. 2021. Resource-use efficiency in US aquaculture: farm-level comparisons across fish species and production systems. *Aquaculture Environment Interactions* 13, 259-275.
- FAO 2022. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Rome, FAO. 226 p.
- Farrelly J.C., Chen Y., Shrestha S. 2015. Occurrences of growth-related target dissolved oxygen and ammonia in different catfish pond production systems in southeast Arkansas. *Aquacultural Engineering* 64, 68-77.
- Fast A.W. 1977. Floating fish rearing system (US Patent Serial No. 4,044,720).
- Fatima S., Komal W., Manzoor F., Latif A.A., Liaqa, R., Ameen S., Janjua R.S. 2021. Analysis of the growth performance, stress, profile of fatty acids and amino acids and cortisol in Tilapia (*Oreochromis niloticus*), cultured at high stocking density using in-pond raceway system. *Saudi Journal of Biological Sciences* 28, 7422-7431.
- Hawcroft B.A. 1994. Development and evaluation of an in-pond raceway and water removal system. Master's thesis, Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, Alabama, USA.
- Jia L., Pan Y., Liu S. 2013. One new culture pattern of America: running water of internal recycle in pond. *China Fish* 1, 40-42.
- Lemarie G., Martin J.L.M., Dutto G., Garidou C. 1998. Nitrogenous and phosphorous waste production in a flow-through land-based farm of European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquatic Living Resources* 11, 247-254.
- Li W., Cheng X., Xie J., Wang Z., Yu D. 2019. Hydrodynamics of an in-pond raceway system with an aeration plug-flow device for application in aquaculture: an experimental study. *Royal Society Open Science* 6, 182061.
- Long C.E. 1990. Raceway culturing of fish (US Patent Serial No. 4,915,059).
- Losordo T.M., Masser M.P., Rakocy J.E. 1999. Recirculating aquaculture tank production systems: An overview of

- raceway on fish production performance and water quality. Master's thesis, Auburn University, Alabama, USA.
- Yoo K.H., Masser M.P., Hawcroft B.A. 1995. An in pond raceway system incorporating removal of fish wastes. *Aquacultural Engineering* 14, 175-187.
- serum parameters, antioxidant status, liver and intestine histology and gene expression of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) farmed in the in-pond raceway system. *Aquaculture Research* 51, 5228-5240.
- Wilcox Jr.M.D. 1998. Effects of an in-pond

Review Article**Introduction of in-pond raceway system in aquaculture****Faezeh Mortezaei, Bahram Falahatkar***Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara,
Iran.*Corresponding author: falahatkar@guilan.ac.ir

Received: 2022/2/21

Accepted: 2022/10/11

Abstract

Despite demanding for aquaculture products have been continuing to grow, developing this diverse enterprise is limited by lack of adequate water resources and lands. To overcome these issues, intensive aquaculture facilities could be used with water recirculating or reuse systems. One of these innovative facilities is in-pond raceway system (IPR). IPRs are effective intensive aquaculture facilities for regions with high water consumption and limited land resources and they are categorized as hybrid or integrated systems. In fact, this system overcomes the problems and bottlenecks of each system by combining various features and advantages of other aquaculture systems. These developing facilities are consisting of several rectangular raceways installed in a pond. IPRs design is more efficient than the ponds and cages due to greater accessibility for feeding, grading, harvesting, and disease treatments and by comparing with other systems, it has significantly more profit and production yield. This study reviews the main components, stocking, feeding, and aquaculture management of fish in IPRs.

Keywords: In-pond raceway, Sustainable aquaculture, Recirculating flow; Hybrid aquaculture systems.