

مبانی طراحی و مدیریت سیستم‌های چرخشی پرورش آبزیان

ترجمه و تدوین:
عبدالجبار ایرانی و ناصر آق

ایرانی، عبدالجبار، 1350،

مبانی طراحی و مدیریت سیستم های چرخشی پرورش آبزیان/ترجمه و تدوین عبدالجبار ایرانی
و ناصر آق. - ارومیه: دانشگاه ارومیه، 1396.
231ص.: مصور، نمودار، جدول. - (انتشارات دانشگاه ارومیه: 214)
شابک: 978-600-8681-02-1
کتابنامه

1- آبی پروری. 2- آبی پروری - خلیج فارس - صنعت و تجارت - جنبه های
زیستی. الف. آق، ناصر، مترجم همکار. ب. عنوان. ج. فروست.
شماره ملی: 4613803 -- رده کنگره: 1396، 2م9الف/، 135، SH

عنوان: مبانی طراحی و مدیریت سیستم های چرخشی پرورش آبزیان
مترجم و تدوین: عبدالجبار ایرانی و ناصر آق
ناشر: دانشگاه ارومیه، 214
سال نشر: 1396
شابک: 978-600-8681-02-1

پیشگفتار

محدودیت‌های کمی و کیفی آب، تهیه زمین مناسب و محدودیت‌های زیست‌محیطی، از جمله مهم‌ترین عواملی هستند که باعث گسترش سیستم‌های چرخشی شده‌اند. کاهش ذخایر آب و افزایش اعتراض‌های اجتماعی در خصوص اثرات زیست‌محیطی پساب‌های حاصل از فعالیت‌های آبی‌پروری، پرورش‌دهندگان را وادار خواهد کرد که از روش‌های سازگار با محیط‌زیست استفاده نمایند. فناوری‌های گردش مجدد آب، بسیاری از این مشکلات را کاهش می‌دهد. چراکه سیستم چرخشی با تصفیه آب و استفاده مجدد از آن، باعث کاهش مصرف آب و اثرات زیانبار زیست‌محیطی می‌گردد.

سیستم‌های چرخشی در گذشته بیش‌تر برای تولید ماهیان باارزشی مثل اسمولت آزادماهی و ماهیان تزئینی به کار می‌رفت، در صورتی‌که این سیستم‌ها امروزه برای تولید انواع ماهیان سردآبی و گرم‌آبی از قبیل قزل‌آلای رنگین‌کمان، چارقطبی، آزادماهی، سوف زرد، تیلاپیا، باس دورگه مخطط، مارماهی، گربه‌ماهی آفریقایی، گربه‌ماهی روگاهی، فلاندر، باس دریایی، توربوت و هالیبوت به کار می‌روند.

در ایران نیز همانند بیش‌تر مناطق دنیا، فناوری سیستم چرخشی در اواخر دهه 1990 و اوایل هزاره سوم به صنعت آبی‌پروری معرفی گردید. ولی به دلیل عدم آگاهی و دانش کافی متصدیان، کارشناسان و یا کارکنان از این فناوری، بسیاری از این سیستم‌ها چندان موفق نبودند. از آنجائی‌که استفاده از این فناوری در مناطق مختلف دنیا برای تولید ماهیان آب شیرین، شور، سردآبی و گرم‌آبی به‌سرعت در حال گسترش است، از طرف دیگر، به‌خاطر خشک‌سالی‌های اخیر و بحران آبی موجود در کشور، استفاده از سیستم‌های چرخشی برای توسعه صنعت آبی‌پروری گریزناپذیر خواهد بود. در این راستا کتاب حاضر به رشته تحریر در آمد، به امید این‌که مورد استفاده علاقه‌مندان آبی‌پروری و مهندسی آبیان قرار گیرد. از آنجائی‌که بیوفیلتر یکی از مهم‌ترین بخش‌های سیستم‌های چرخشی پرورش آبیان است که می‌تواند موفقیت و یا عدم موفقیت آن‌ها را رقم بزند، بنابراین مهم‌ترین بیوفیلترهای مورد استفاده در سیستم‌های چرخشی، با تاکید بیش‌تر از سایر بخش‌ها و در فصل‌های مجزا مورد بررسی قرار گرفته است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	۹
۱- مرور کلی بر سیستم‌های چرخشی پرورش آبزیان	۱۰
۱-۱- مقدمه	۱۰
۲-۱- کیفیت آب در سیستم‌های چرخشی	۱۲
۱-۲-۱- اکسیژن محلول	۱۳
۲-۲-۱- دی‌اکسید کربن	۱۴
۳-۲-۱- pH	Error! Bookmark not defined.
۴-۲-۱- غلظت‌های مواد جامد	Error! Bookmark not defined.
۱-۴-۲-۱- مواد جامد ته‌نشین شونده	Error! Bookmark not defined.
۲-۴-۲-۱- مواد جامد معلق	Error! Bookmark not defined.
۳-۴-۲-۱- مواد جامد معلق ریز و مواد جامد محلول	Error! Bookmark not defined.
۵-۲-۱- آمونیاک	Error! Bookmark not defined.
۶-۲-۱- نیتريت (NO ₂ -N) و نیترات (NO ₃ -N)	Error! Bookmark not defined.
۳-۱- طبقه‌بندی سیستم‌های چرخشی	Error! Bookmark not defined.
۴-۱- ارزیابی پایداری سیستم‌های چرخشی	Error! Bookmark not defined.
۵-۱- پیشرفت‌های سیستم‌های چرخشی	Error! Bookmark not defined.
۶-۱- چالش‌های موجود در سیستم‌های چرخشی	Error! Bookmark not defined.
فصل دوم	Error! Bookmark not defined.

عنوان صفحه

Error! Bookmark not defined.	۲- اصول طراحی سیستم‌های چرخشی پرورش آبزیان
Error! Bookmark not defined.	۱-۲- شاخص‌های توصیف‌کننده
Error! Bookmark not defined.	۱-۱-۲- درصد برگشت آب
Error! Bookmark not defined.	۲-۱-۲- تعویض آب مرتبط با زی‌توده ماهی
Error! Bookmark not defined.	۳-۱-۲- تعویض آب به ازای غذایی روزانه
Error! Bookmark not defined.	۴-۱-۲- بازده تصفیه آب
Error! Bookmark not defined.	۲-۲- مدل‌های تئوری برای طراحی سیستم چرخشی
Error! Bookmark not defined.	۱-۲-۲- دبی آب و نرخ بارگذاری پسماندها
Error! Bookmark not defined.	۲-۲-۲- مقدار آب موردنیاز سیستم
Error! Bookmark not defined.	۳-۲- طراحی بخش‌های مختلف سیستم‌های چرخشی
Error! Bookmark not defined.	۱-۳-۲- واحدهای حذف‌کننده پسماندهای ذره‌ای
Error! Bookmark not defined.	۱-۱-۳-۲- فیلترهای مکانیکی یا غربالی
Error! Bookmark not defined.	۲-۱-۳-۲- فیلترهای گرانولی
Error! Bookmark not defined.	۳-۱-۳-۲- فیلترهای ته‌نشینی
Error! Bookmark not defined.	۲-۳-۲- واحدهای حذف‌کننده پسماندهای نیتروژنی
Error! Bookmark not defined.	۳-۳-۲- هوادهی و اکسیژن‌دهی
Error! Bookmark not defined.	۱-۳-۳-۲- هوادهی
Error! Bookmark not defined.	۲-۳-۳-۲- اکسیژن‌دهی
Error! Bookmark not defined.	۴-۳-۲- ضدعفونی
Error! Bookmark not defined.	۱-۴-۳-۲- اشعه ماوراءبنفش (UV)
Error! Bookmark not defined.	۲-۴-۳-۲- ازن (O ₃)

عنوان صفحه

Error! Bookmark not defined. (Photozone) فتوزون ۳-۴-۳-۲

Error! Bookmark not defined. (Formalin) فرمالین ۴-۴-۳-۲

Error! Bookmark not defined. حرارت ۵-۴-۳-۲

Error! Bookmark not defined. کلر ۶-۴-۳-۲

Error! Bookmark not defined...... فصل سوم

Error! Bookmark not defined. بیوفیلتراسیون ۳

Error! Bookmark not defined. ۱-۳ بیوفیلیم باکتریایی

Error! Bookmark not defined. ۲-۳ نیتریفیکاسیون

Error! Bookmark not defined. ۳-۳ عوامل مؤثر در نیتریفیکاسیون

Error! Bookmark not defined. ۱-۳-۳ اکسیژن محلول

Error! Bookmark not defined. ۲-۳-۳ نیتروژن آمونیاکی کل (TAN)

Error! Bookmark not defined. ۳-۳-۳ تأثیر pH

Error! Bookmark not defined. ۴-۳-۳ قلیائیت

Error! Bookmark not defined. ۵-۳-۳ بارگذاری مواد آلی

Error! Bookmark not defined. ۶-۳-۳ درجه حرارت

Error! Bookmark not defined. ۴-۳ دنیتریفیکاسیون

Error! Bookmark not defined. ۱-۴-۳ حذف زیستی نترات

Error! Bookmark not defined. ۲-۴-۳ دنیتریفیکاسیون هتروتروفی

Error! Bookmark not defined. ۳-۴-۳ دنیتریفیکاسیون اتوتروفی

Error! Bookmark not defined. ۴-۴-۳ دنیتریفایرها و حذف فسفات

Error! Bookmark not defined. ۵-۴-۳ کنترل قلیائیت به وسیله دنیتریفیکاسیون

عنوان صفحه

3-4-6- دنیتریفیکاسیون خودبه‌خودی در سیستم‌های

چرخشی.....106

3-4-7- دنیتریفیکاسیون هدفمند در سیستم‌های چرخشی ...

3-5- انواع بیوفیلترها.....

Error! Bookmark not defined...... فصل چهارم

4- بیوفیلتر چکه‌ای

4-1- عوامل مؤثر در طراحی بیوفیلتر چکه‌ای

4-1-1- نرخ بارگذاری هیدرولیک

4-1-2- انتقال مواد مغذی به نیتریفایرها

4-1-3- عمق و سطح مقطع

4-1-4- نسبت تخلخل

4-1-5- سطح ویژه بستر بیوفیلتر

4-2- اصول طراحی بیوفیلتر چکه‌ای

4-3- اجزاء تشکیل دهنده بیوفیلتر چکه‌ای

4-3-1- سیستم توزیع آب

4-3-2- بستر بیوفیلتر

4-3-3- سیستم زهکش

4-3-4- مخزن نگه‌دارنده

4-3-5- سیستم پمپاژ

Error! Bookmark not defined...... فصل پنجم

۵- بیوفیلتر چرخان Error! Bookmark not defined.
عنوان صفحه

۵-۱- عوامل مؤثر در طراحی بیوفیلتر چرخان Error! Bookmark not defined.

۵-۱-۱- سرعت چرخش Error! Bookmark not defined.

۵-۱-۲- عمق غوطه‌وری Error! Bookmark not defined.

۵-۱-۳- نرخ بارگذاری آمونیاک و نرخ بارگذاری هیدرولیک Error! Bookmark not defined.

۵-۱-۴- نرخ حذف آمونیاک و نیتريت Error! Bookmark not defined.

۵-۱-۵- تعداد مراحل (تعداد واحدها) Error! Bookmark not defined.

۵-۲- اصول طراحی بیوفیلتر چرخان Error! Bookmark not defined.

۵-۳- اجزاء تشکیل دهنده بیوفیلتر چرخان Error! Bookmark not defined.

۵-۳-۱- بستر بیوفیلتر Error! Bookmark not defined.

۵-۳-۲- محفظه Error! Bookmark not defined.

۵-۳-۳- محور Error! Bookmark not defined.

۵-۳-۴- سیستم محرک Error! Bookmark not defined.

۵-۳-۵- مخزن Error! Bookmark not defined.

۵-۳-۶- مخزن رسوب‌گیر Error! Bookmark not defined.

۵-۴- الگوهای استقرار بیوفیلتر چرخان در مسیر جریان آب Error! Bookmark not defined.

Error! Bookmark not defined. فصل ششم

۶- بیوفیلتر گرانولی شناور Error! Bookmark not defined.

۶-۱- انواع بیوفیلترهای گرانولی شناور Error! Bookmark not defined.

۶-۲- مدیریت بیوفیلترهای گرانولی شناور Error! Bookmark not defined.

Error! Bookmark not defined.....	۱-۲-۶- کیفیت مناسب آب
Error! Bookmark not defined.....	۲-۲-۶- مدیریت بیوفیلتر
.....	عنوان صفحه
Error! Bookmark not defined.....	۳-۲-۶- انتقال مناسب مواد مغذی
Error! Bookmark not defined.....	۱-۳-۲-۶- شستشوی معکوس
Error! Bookmark not defined.....	۲-۳-۲-۶- دبی آب
Error! Bookmark not defined.....	۳-۳-۶- اصول طراحی بیوفیلتر گرانولی شناور
Error! Bookmark not defined.....	۱-۳-۶- طراحی بیوفیلتر بر اساس نرخ بارگذاری مواد آلی
Error! Bookmark not defined.....	۲-۳-۶- طراحی بیوفیلتر بر اساس نرخ نیتریفیکاسیون
Error! Bookmark not defined.....	فصل هفتم
Error! Bookmark not defined.....	۷- بیوفیلترهای شنی افشان
Error! Bookmark not defined.....	۱-۷- انواع مکانیسم‌های ورود آب به داخل بیوفیلتر
Error!	۱-۱-۷- لوله‌های افقی پوشیده شده با سنگریزه یا شبکه توزیع دارای کف کاذب
	Bookmark not defined.
Error! Bookmark not defined.....	۲-۱-۷- لوله‌های عمودی توزیع‌کننده آب
Error! Bookmark not defined.....	۳-۱-۷- کف کاذب سوراخ‌دار توزیع‌کننده آب
Error! Bookmark not defined.....	۴-۱-۷- لوله‌های افقی توزیع‌کننده آب
Error! Bookmark not defined.....	۵-۱-۷- مکانیسم توزیع آب سیکلوئیدی
Error! Bookmark not defined.....	۲-۷- شاخص انتخاب شن
Error! Bookmark not defined.....	۳-۷- گسترش بستر شنی
Error! Bookmark not defined.....	۱-۳-۷- ارتفاع گسترش بستر شنی

Error! Bookmark ۲-۳-۷- رابطه گسترش بستر شنی با سرعت جریان آب و اندازه ذرات شن
not defined.

Error! Bookmark not defined.۳-۳-۷- آزمایش عملی برای برآورد گسترش شنی

Error! Bookmark not defined.۴-۳-۷- اثرات رشد بیوفیلم بر گسترش بستر شنی

Error! Bookmark not defined.۴-۷- شاخص‌های طراحی بیوفیلتر شنی افشان

عنوان صفحه

Error! Bookmark not defined.۱-۴-۷- اندازه بیوفیلتر و مقدار شن موردنیاز

Error! Bookmark not defined.۲-۴-۷- نرخ حذف حجمی و بازده حذف

Error! Bookmark not defined.۳-۴-۷- منطقه سطح ویژه

Error! Bookmark not defined.۴-۴-۷- تولید دی‌اکسید کربن و مصرف اکسیژن

Error! Bookmark not defined.۵-۷- فعالیت‌های اجرائی و مدیریتی بیوفیلتر شنی افشان

Error! Bookmark not defined.۱-۵-۷- مدیریت رشد بیوفیلم

Error! Bookmark not defined.۲-۵-۷- مدیریت جریان آب و جلوگیری از ایجاد حباب

Error! Bookmark not defined.۳-۵-۷- بررسی وضعیت گسترش بستر شنی

Error! Bookmark not defined.۴-۵-۷- راهکارهای تمیز کردن شبکه توزیع آب

Error! Bookmark not defined...... فصل هشتم

Error! Bookmark not defined.۸- بیوفیلتر بستر متحرک

Error! Bookmark not defined.۱-۸- راهبرد بیوفیلتراسیونی بیوفیلتر بستر متحرک

Error! Bookmark not defined.۲-۸- رشد بیوفیلم و جدا شدن آن

Error! Bookmark not defined.۳-۸- مدل‌سازی بیوفیلتر بستر متحرک

Error! Bookmark not defined.۴-۸- انواع بستر بیوفیلتر و تراکم آن‌ها در داخل مخزن

Error! Bookmark not defined.۵-۸- کارایی بیوفیلتر بستر متحرک

Error! Bookmark not defined بیوفیلتر دنیتریفیکاسیون ۶-۸

Error! Bookmark not defined...... منابع

فصل اول

مرور کلی بر

سیستم‌های چرخشی پرورش آبزیان

۱- مرور کلی بر سیستم‌های چرخشی پرورش آبزیان^۱

۱-۱- مقدمه

یک سیستم آبی‌پروری را می‌توان به صورت تولید انواع آبزیان برای اهداف مختلف، تحت شرایط کنترل‌شده و یا نیمه کنترل‌شده تعریف نمود. سیستم‌های آبی‌پروری را می‌توان از جنبه‌های مختلفی از قبیل ساختار، نوع آبی‌پروری، تراکم تولید، تعداد گونه پرورشی، شوری آب، درجه حرارت، غذادهی، اقتصادی، مصرف آب و اثرات زیست‌محیطی، به شرح ذیل تقسیم کرد (ویتون، 1977):

- نوع ساختار: پرورش در استخرهای خاکی، پن‌ها و قفس‌های توری، کانال‌های بتنی دراز و تانک‌ها
- نوع آبی‌پروری: پرورش ماهی، سخت‌پوستان، گیاهان و نرم‌تنان
- تراکم تولید: پرورش گسترده، نیمه متراکم و متراکم
- تعداد گونه پرورشی: پرورش تک‌گونه‌ای و پرورش چندگونه‌ای
- شوری آب: پرورش در آب شیرین، لب‌شور و شور
- درجه حرارت آب: پرورش ماهیان گرم‌آبی و سردآبی
- غذادهی: پرورش با غذادهی و پرورش با تولیدات طبیعی
- اقتصادی: پرورش تجاری و پرورش برای تأمین معاش
- مصرف آب و اثرات زیست‌محیطی: سیستم جریان باز، سیستم نیمه چرخشی^۲ و سیستم چرخشی

در سیستم‌های چرخشی پرورش آبزیان، آب پس از خارج شدن از استخرهای پرورشی برگشت داده شده و پس از تصفیه، دوباره وارد استخرهای پرورشی می‌گردد. از نظر تئوری، کل آب سیستم را می‌توان برگشت داد، به طوری که نیازی به اضافه کردن آب تازه نخواهد بود (به استثناء مقدار آبی که برای جبران تبخیر باید اضافه شود)، ولی بالا بودن هزینه برگشت کامل آب سیستم و بالا بودن نیازمندی‌های کیفی آب برای بیش‌تر گونه‌های پرورشی، امکان برگشت کامل آب خروجی را محدود می‌کند؛ بنابراین در سیستم‌های چرخشی پرورش آبزیان، بخش عمده آب خروجی سیستم برگشت داده می‌شود و پس از تصفیه شدن، دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طوری که مصرف آب در سیستم‌های چرخشی متداول حدود 2-0/2 درصد سیستم‌های جریان باز است. سیستم‌های چرخشی در بیش‌تر موارد به دلیل محدودیت‌های زیست‌محیطی برای استفاده از زمین و آب توسعه پیدا کرده‌اند. مهم‌ترین مزایای سیستم‌های چرخشی به شرح زیر می‌باشد:

- کاهش مصرف آب (وردجم و همکاران، 2003)
- مدیریت بهتر مواد دفعی و مواد مغذی (پیدراهیتا، 2003)
- مدیریت بهتر بهداشت و بیماری‌ها (سامرفلت و همکاران، 2009؛ تال و همکاران، 2009)
- کنترل آلودگی بیولوژیکی و عدم امکان فرار ماهیان (زوه‌ر و همکاران، 2005)

¹ Recirculating Aquaculture Systems

¹ Semi-Closed System

- کاهش بازرسی‌های بصری سیستم (مارتینز و همکاران، 2010)
- کاهش وابستگی به منابع آبی و امکان تولید انواع آبزیان در مجاورت بازار مصرف (ماسر و همکاران، 1999؛ شنیدر و همکاران، 2010)

با وجود مزیت‌های اشاره‌شده و افزایش به‌کارگیری این فناوری در کشورهای مختلف، هنوز میزان تولیدات حاصل از سیستم‌های چرخشی در مقایسه با پرورش در قفس، سیستم‌های جریان باز و استخرهای پرورشی، کم است. یکی از دلایل استقبال کم سیستم‌های چرخشی، بالا بودن سرمایه‌گذاری اولیه آن می‌باشد (شنیدر و همکاران، 2006). برای جبران این هزینه اولیه بایستی میزان تولید در واحد سطح بالا باشد و مهم‌تر از آن، طراحی سیستم‌هایی است که بخش‌های مختلف آن با حداقل هزینه، کارایی مناسبی داشته باشند. از طرف دیگر مدیریت بخش‌های مختلف این سیستم‌ها، نیاز به دانش زیستی و فناوری سطح بالایی دارد. به همین دلیل، بسیاری از سیستم‌هایی که در دهه 90 میلادی در مناطق مختلف دنیا تأسیس شدند، شکست خوردند.

ارزیابی اطلاعات مربوط به مقادیر تولید در سیستم‌های چرخشی مشکل است، چراکه در این حوضه، اطلاعات جمع‌آوری شده منظمی وجود ندارد. هلند و دانمارک نخستین کشورهایی هستند که در اروپا از این فناوری استفاده کرده‌اند و به تدریج سایر کشورها نیز در مراکز تکثیر و واحدهای پرورش به فناوری چرخشی روی آورده‌اند. سیستم‌های هلندی معمولاً سرپوشیده و چرخشی کامل هستند که برای تولید ماهیان آب شیرین به‌ویژه گربه‌ماهی آفریقایی و مارماهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این سیستم‌ها مقادیر تعویض آب روزانه بین 300 – 30 لیتر به ازای هر کیلوگرم غذای مصرفی روزانه است (مارتینز، 2009b). سیستم‌های دانمارکی اغلب غیر سرپوشیده و به صورت نیمه چرخشی هستند که بیش‌تر برای پرورش ماهی قزل‌آلا به کار می‌روند. در این سیستم‌ها مقادیر تعویض آب روزانه حدود 3900 لیتر به ازای هر کیلوگرم غذا و یا حدود 7/7٪ سیستم‌های سنتی پرورش قزل‌آلا است (جوکومسن و همکاران، 2009). بعد از مدل دانمارکی یک سیستم نیمه چرخشی در فرانسه برای پرورش ماهی قزل‌آلا طراحی گردید که مقدار تعویض آب در آن حدود 9000 لیتر به ازای هر کیلوگرم غذای مصرفی روزانه بوده است (روکوئه دوربکاستل و همکاران، 2009b). به دنبال معرفی سیستم‌های فوق در اواخر دهه 1980 مقادیر تولید و تنوع گونه‌های پرورشی سیستم‌های چرخشی به شدت افزایش یافته است (مارتینز و همکاران، 2005). امروزه در اروپا بیش از 10 گونه در سیستم‌های چرخشی تولید می‌شود که گربه‌ماهی آفریقایی، مارماهی و قزل‌آلا مهم‌ترین گونه‌های آب شیرین و توروبوت، سی باس و ماهی پهن مهم‌ترین گونه‌های دریایی هستند. اطلاعات موجود نشان می‌دهند که در اروپا مراکز تکثیر به سمت استفاده از فناوری چرخشی می‌روند (برگیم و همکاران، 2009). کاهش بیش‌تر منابع آبی، بالا بودن تغییرات فصلی درجه حرارت و کیفیت پائین آب ورودی از مهم‌ترین دلایل توسعه سیستم‌های چرخشی برای تولید اسمولت آزادماهی در نروژ بوده است (کریستنسن و همکاران، 2009). از طرف دیگر ترجمان و همکاران (2008) نشان دادند که اسمولت‌های تولیدشده در سیستم‌های چرخشی، بعد از انتقال به آب دریا از نظر رشد و بقاء دارای کیفیت بالاتری بوده‌اند.

در ایالات متحده آمریکا بیش‌ترین توسعه سیستم‌های چرخشی برای تولید ماهی باس مخطط هیبرید در صحراهای کالیفرنیا بوده که علت آن محدودیت‌های منابع آب شیرین گزارش شده است (کارلبرگ و همکاران، 2003). مشابه همین وضعیت در اسرائیل نیز گزارش گردیده، یعنی محدودیت منابع آبی در این کشور باعث توسعه سیستم چرخشی شده است (باراک و وان ریجن، 2000). صنعت پرورش ماهیان تزئینی در اورلاندو-تامپس ایالت فلوریدای آمریکا به دلیل افزایش جمعیت و افزایش مصرف آب ناشی از آن، با محدودیت شدید منابع آبی مواجه بوده است. آسانو و همکاران (2003) محدودیت‌های آبی شدیدتری را برای صنعت پرورش

ماهیان تزئینی هاوایی گزارش نموده‌اند، به طوری که این امر باعث شده تا پرورش دهندگان در این مناطق به سمت استفاده از سیستم چرخشی روی آورند. همچنین محدودیت منابع آبی در شمال ایالات متحده منجر به شکل‌گیری سیستم‌های چرخشی بزرگ ماهیان سردآبی شده است (هینن و همکاران، 1996). شوستر و استلز (1998) حفاظت و نگهداری از منابع آبی را اصلی‌ترین دلیل برای توجیه طرح‌های چرخشی تولید قزل‌آلا عنوان کرده‌اند.

در عرصه آب‌شور، سیستم چرخشی نقش مهمی در تولید بچه ماهیان سالم و با اندازه مناسب برای پرورش در استخرها و پن‌ها بازی می‌کند (فیلدر و آلان، 1997). سیستم‌های چرخشی با طبیعت پیچیده تولیدمثل بیش‌تر ماهیان دریایی سازگار بوده و هم‌آوری بالای مولدین، هزینه‌های حذف مواد دفعی را کاهش می‌یابد. ارزش بالای بچه ماهیان و ماهیان تزئینی آب‌های شور باعث ترغیب بیش‌تر استفاده از سیستم چرخشی شده است. تولید مطمئن بچه‌ماهیان در بیش‌تر ماهیان دریایی از قبیل سی‌باس، سی‌بریم، ماهیان پهن و سوکلا اصلی‌ترین مسئله در پرورش آن‌ها به حساب می‌آید (واتاناب و همکاران، 1998). یکی دیگر از مهم‌ترین دلایل استفاده از سیستم چرخشی در تولید لارو، فرای و بچه ماهی ماهیان دریایی، ایمنی این سیستم است (پرودر، 2004)، چراکه سیستم چرخشی امکان ورود عوامل بیماری‌زا را به‌طور قابل‌توجه‌ای کاهش می‌دهد (داویز، 1990). برای جلوگیری از شیوع ویروس‌هایی مثل VP⁵, YHV⁴, WSSV³ که در سال‌های اخیر به‌شدت این صنعت را دچار مشکل کرده‌اند، سیستم ایمنی و حفاظتی بالایی لازم است. بیماری‌های عفونی در سال‌های اخیر یکی از مهم‌ترین عوامل واردکننده خسارت به صنعت پرورش میگو بوده است و بیم آن می‌رود که این خطر به سایر بخش‌های آبی‌پروری نیز سرایت نماید (فائو، 2003). لاروهای میگو نسبت به کیفیت پائین آب، انواع آلاینده‌ها، عوامل بیماری‌زا و حضور انواع غذاهای زنده که از طریق منابع آبی می‌توانند وارد سیستم شوند، به‌شدت حساس هستند؛ بنابراین با استفاده از سیستم چرخشی در مراحل اولیه زندگی میگو می‌توان به‌خوبی شرایط مناسب و بهینه را برای آن‌ها فراهم نمود (گوتیرز-وینگ و مالون، 2006).

سیستم‌های چرخشی در تحقیقات زیست‌محیطی و بیومدیکال با استفاده از ماهیانی مثل زبرافیش و مداکا به‌عنوان مدل‌های تحقیقاتی، نقش مهمی داشته‌اند (سارماسکی، 2003). همچنین زمینه‌های تحقیقاتی مختلفی از قبیل مطالعات ژنتیکی و مولکولی، بررسی جهش‌زایی، ناقص‌الخلقه‌ها، تولید ترانس‌ژنیک، گسستگی‌های هورمونی و بررسی روندهای تکاملی نیازمند نگهداری ارگانسم‌ها در شرایط استاندارد بدون عوامل تاثیرگذار خارجی است. در سیستم‌های چرخشی به دلیل اینکه کنترل قسمت‌های مختلف آن‌ها امکان‌پذیر می‌باشد، ورود عوامل بیماری‌زا و اثرات عوامل ناخواسته بسیار کاهش می‌یابد. به همین دلیل این سیستم‌ها شرایط مناسبی برای زمینه‌های تحقیقاتی فوق‌الذکر را فراهم می‌نماید (گوتیرز-وینگ و مالون، 2006).

۱-۲- کیفیت آب در سیستم‌های چرخشی

یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در سیستم‌های چرخشی پرورش آبزیان، مدیریت کیفیت آب است. اگر فرآیندهای تصفیه آب به‌خوبی مدیریت نشود، باعث ایجاد اثرات منفی روی رشد آبزیان پرورشی، زمینه مساعد برای شیوع بیماری‌ها، افزایش استرس و سایر مشکلات مرتبط با کاهش کیفیت آب می‌گردد که نتیجه نهایی هر یک از این موارد، کاهش تولید در سیستم موردنظر است (تیمونس و همکاران، 2001). در سیستم‌های چرخشی کیفیت آب به عوامل مختلفی وابسته است که مهم‌ترین آن‌ها: منبع و منشأ آب، سطح و مقدار گردش آب در سیستم، گونه آبی‌پرورشی و فرآیندهای تصفیه آب می‌باشد. عمده‌ترین مشکلات مربوط به

³ White Spot Syndrome Virus

⁴ Yellow Head Virus

⁵ Vibrio Parahaemolyticus

کیفیت آب، کاهش اکسیژن محلول و افزایش غلظت متابولیت‌های دفع شده، است (سانی و فورسبرگ، 1996). متابولیت‌های موردنظر شامل: نیتروژن آمونیاکی کل (TAN)؛ نیتروژن آمونیاکی غیر یونیزه ($\text{NH}_3\text{-N}$)، نیتروژن نیتريت ($\text{NO}_2\text{-N}$)، نیتروژن نیترات ($\text{NO}_3\text{-N}$)، دی‌اکسید کربن محلول (CO_2)، مواد جامد معلق (SS)، مواد جامد محلول و مواد آلی غیرقابل تجزیه است. گزارش شده که به ازای هر 10 میلی‌گرم در لیتر اکسیژن محلول مصرف‌شده توسط ماهی، تقریباً $1\text{-}1/4$ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن آمونیاکی کل، 13-14 میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن، 10-20 میلی‌گرم در لیتر مواد جامد کل (TSS) تولید و وارد سیستم می‌شود (هاگوپیان و ریلی، 1998). به‌رحال کنترل و نگهداری کیفیت آب در حد مطلوب، یکی از اصلی‌ترین نیازمندی‌های هر نوع سیستم پرورش آبزیان و مخصوصاً سیستم چرخشی است.

۱-۲-۱- اکسیژن محلول

در میان پارامترهای کیفی آب، اکسیژن مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید به‌حساب می‌آید. ماهی اکسیژن مصرف می‌کند تا غذا را به انرژی و زی‌توده تبدیل کند. با توجه به یافته‌های پیلی و کوتی (2005) حداقل اکسیژن محلول موردنیاز برای رشد بهینه ماهی تقریباً 5 میلی‌گرم در لیتر (برای ماهیان گرم‌آبی) و 7 میلی‌گرم در لیتر (برای ماهیان سردآبی) است. مقادیر اکسیژنی پایین‌تر از این حد باعث کاهش رشد می‌شود و افزایش اکسیژن محلول تا حدود 120-140 درصد حالت اشباع می‌تواند به خاطر ایجاد استرس های اکسیداتیو و افزایش حساسیت نسبت به بیماری‌ها، سلامت ماهی را به خطر اندازد. مصرف اکسیژن ماهی با توجه به شرایط متغیر است و تابع عوامل مختلفی از جمله موارد مشروحه زیر می‌باشد (پیلی و کوتی، 2005):

- درجه حرارت: با افزایش درجه حرارت، مصرف اکسیژن افزایش می‌یابد.
- اندازه بدن: با افزایش اندازه بدن آبی، مصرف اکسیژن به‌صورت نمایی کاهش می‌یابد (نسبت معکوس نمایی دارد).
- نرخ غذایی: با افزایش غذایی، مصرف اکسیژن برای هضم غذا افزایش می‌یابد.
- ضریب رشد: مصرف اکسیژن با ضریب رشد نسبت مستقیم دارد.
- سرعت شنا و استرس: با افزایش سرعت شنا مصرف اکسیژن بالا می‌رود و افزایش استرس ممکن است مصرف اکسیژن را افزایش دهد.

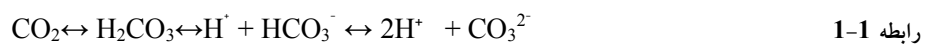
نیازهای اکسیژنی ماهی را می‌توان از روی غذای مصرف‌شده به دست آورد. برخی محققین برای برآورد میزان مصرف اکسیژن گونه‌های آزادماهیان از روی عواملی از قبیل اندازه بدن، درجه حرارت، سرعت جریان آب، زمان بعد از غذایی، مقادیر دی‌اکسید کربن محلول در آب و رژیم‌های نوری مدل‌هایی را طراحی کرده‌اند (فیولستاد و اسمیت، 1991؛ فورسبرگ، 1994؛ سامرفلت و همکاران، 2000). به‌عنوان مثال تیمونس و همکاران (2001) به‌عنوان یک قاعده کلی در ماهیان، نسبت $0/25$: 1 را برای مصرف اکسیژن و غذای خورده شده پیشنهاد کردند. محققین فوق همچنین ضریب کلی تنفس در ماهی (کسر مصرف اکسیژن به تولید دی‌اکسید کربن) را بدین‌صورت عنوان کردند که با مصرف 1 میلی‌گرم در لیتر اکسیژن در هر دقیقه، مقدار $1/3$ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن تولید می‌گردد و این نسبت‌ها می‌توانند برای برآورد تولید کل دی‌اکسید کربن در سیستم‌های پرورشی مورد استفاده قرار گیرند؛ اما در آزادماهیان با مصرف شدن 1 میلی‌گرم در لیتر اکسیژن، حدود 1 میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن تولید می‌گردد.

¹ Total Ammonia Nitrogen

۱-۲-۲- دی‌اکسید کربن

دی‌اکسید کربن برای ماهیان به‌عنوان یک ماده سمی در نظر گرفته می‌شود، مخصوصاً در سیستم‌های پرورش متراکم که به آب ورودی، اکسیژن خالص تزریق می‌شود و تعویض آب کمی انجام می‌گردد، یک عامل محدودکننده به‌حساب می‌آید. با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن شیب انتشار آن بین خون ماهی و آب پیرامونی کاهش می‌یابد و این امر باعث اسیدی شدن (کاهش pH) خون می‌گردد. با کاهش pH خون ظرفیت حمل اکسیژنی خون شریانی کاهش یافته، در نتیجه یک کاهش کلی در دریافت اکسیژن اتفاق می‌افتد (سانی و فورسبرگ، 1996).

به‌طورکلی، دی‌اکسید کربن که یک محصول جنبی متابولیسم است، به‌صورت گاز مولکولی CO₂ از آبشش‌های ماهی دفع می‌گردد. با ورود این گاز به آب، با آن واکنش داده به شکل اسید کربنیک (H₂CO₃)، بی‌کربنات (HCO₃⁻) و کربنات (CO₃²⁻) درمی‌آید (رابطه 1-1). تعادل و توازن بین آن‌ها به مقادیر pH آب بستگی دارد، به‌طوری‌که یک رابطه نمایی عکس بین فشار جزئی CO₂ و مقادیر pH آب وجود دارد.



وابستگی متقابل pH، دی‌اکسید کربن، بی‌کربنات و کربنات در شکل 1-1 نشان داده شده است (بوید، 2000). با توجه به این شکل، در pH پایین‌تر از حدود 5، دی‌اکسید کربن تنها کربن غیر آلی است. با افزایش pH مقدار دی‌اکسید کربن کاهش و مقدار بی‌کربنات افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که در pH حدود 8/3 تنها کربن غیر آلی قابل ملاحظه، بی‌کربنات است. در pH بالای 8/3، کربنات ظاهر می‌شود و اگر pH افزایش یابد مقدار آن به تدریج زیادتر می‌شود.