Archive of SID

تأثیر افزایش سختی کل آب بر شاخص‌های رشد ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و گیاه کاهو (*Lactuca sativa*) در یک سازگان آبزی‌پروری توأم

عرفان سلمرودی، غلامرضا رفیعی*، کامران رضایی توابع

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

*نویسنده مسئول: ghrafiee@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۹

چکیده

برای تعیین تأثیر افزایش غلظت سختی کل (کلسیم کلرید) آب بر شاخص‌های رشد و ایمنی در قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و گیاه کاهو (*Lactuca sativa*)، در یک سازگان توأم ماهی و گیاه، تعداد ۹۰ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان با میانگین وزن ۱/۵±۴۵/۰ گرم و ۲۶۰ عدد نشاء کاهو به‌شکل کاملاً تصادفی به ۹ واحد آزمایشی وارد شدند. تیمارها تحت تأثیر افزایش غلظت سختی کل (کلسیم کلرید) ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در هر لیتر آب (با سختی کل آب ورودی ۱۴۰ میلی‌گرم) به‌مدت ۶۰ روز قرار گرفتند. شاخص‌های رشد از قبیل درصد افزایش وزن، نرخ رشد ویژه، نرخ تبدیل غذایی و نرخ کارایی پروتئین ماهیان تغییر معنی‌داری را در بین تیمارها نشان ندادند ($P\geq$۰/۰۵) اما درصد بقاء تفاوت معنی‌داری را بین تیمارها نشان داد ($P<$۰/۰۵). شاخص‌های رشد گیاه از قبیل طول نهایی برگ، عرض نهایی برگ، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه تفاوت معنی‌داری را در بین تیمارها نشان دادند ($P<$۰/۰۵). نتایج اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی خون ماهی نیز نشان داد، با افزایش سطح سختی کل در آب، تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم کلسیم کلرید در هر لیتر آب، بیشترین غلظت کلسیم پلاسما به مقدار ۱۱/۳۶±۰/۲۵ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر خون ماهی را نشان می دهد که این مقدار نسبت به تیمارهای دیگر معنی‌دار بود. سایر شاخص‌های خونی از قبیل هماتوکریت (Hct)، حجم متوسط گلبولی (MCV)، هموگلوبین (HGB)، تعداد گلبول های قرمز (RBC)، میانگین هموگلوبین گلبولی (MCH) و غلظت متوسط هموگلوبین داخل گلبول قرمز (MCHC) فاقد تفاوت معنی‌دار بودند ($P\geq$۰/۰۵). نتایج این آزمایش نشان داد با افزایش ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم کلرید به آب، یعنی در حد ۲۴۰ میلی‌گرم در لیتر ، مقدار کلسیم موجود در پلاسما در خون ماهی تغییر می‌کند و رشد ماهی و گیاه نیز افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: سختی کل، گیاه کاهو، قزل‌آلای رنگین کمان، آکواپونیک.

مقدمه

در صنعت آبزی‌پروری، به‌منظور حفظ کیفیت آب برای رشد ماهی نیاز به تعویض آب روزانه امری ضروری است. مطالعات نشان داده است که پساب آبزی‌پروری شامل مواد دفعی ماهی، متابولیت‌ها، خوراک باقی مانده، آنتی بیوتیک‌ها و غیره است (Klinger and Naylor, 2012). در صورت عدم مدیریت هوشمندانه، بار زیادی از موادآلی باعث آلودگی محیط‌های پرورشی شده و در نهایت به محیط‌های آبی دریافت کننده پساب پرورش ماهی و آبزیان آسیب می‌زند. به‌منظور جلوگیری از تشدید مشکلات زیست محیطی، روش‌ها و سازگان‌های زیادی برای کاهش بار آلودگی ارایه شده است. در حال حاضر از بین روش‌های مهم تصفیه آب و بکار-گیری مجدد آب برای پرورش ماهی، مانند استفاده از فیلترهای مکانیکی، فیلترهای زیستی باکتریایی و سیستم‌های متکی بر تولید رشته‌های زیستی یا بیوفلاک و سیستم‌های ترکیبی، سیستم‌های پرورش توأم ماهی و گیاه یا آکواپونیک (Aquaponics) به عنوان یک سامانه یا سیستم سازگار با محیط زیست و متکی بر فرایندهای زیستی مطرح است (Rakocy *et al.*, 2003).

سازگان پرورش توأم گیاه و آبزیان یا "آکواپونیک" به‌عنوان عاملی تعریف شده است که به طور موثر بر کاهش اثرات نامطلوب آبزی‌پروری بر محیط زیست تأثیر دارد (Rafiee and Saad, 2005). در آکواپونیک، آب حاوی مواد مغذی و فضولات آبزیان، به‌عنوان مواد مغذی به مصرف

www.SID.ir

Archive of SID

گیاهان می‌رسد و در نهایت پساب تولیدی ماهی با تصفیهٔ مکانیکی، دوباره برای ماهی‌های پرورشی استفاده می‌شود (Rafiee and Saad, 2005; Zou *et al*., 2016). یکی از اصلی‌ترین مزیت‌های سیستم پرورش آکواپونیک صرفه اقتصادی این سیستم برای پروش آبزیان و گیاهان به شکل توأم می‌باشد. برآورد شده است که در این سیستم حدود ۲۳ درصد هزینه-های برق و ۱۱ درصد هزینه‌های غذای ماهی کاهش می‌یابد (Blidariu and Grozea, 2011). نقش عامل سختی و سختی کل در سیستم‌های کشت بدون خاک یا هیدروپونیک در بسیاری از پژوهش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است و مشخص شده است که سختی می‌تواند بر عملکرد و حرکت عناصر و تبادل آن بین آب و گیاه نقش داشته باشد. فعالیت-های آبزی‌پروری در ۳ دهه گذشته، به سمت طراحی-های مختلف گیاهان هیدروپونیک در سیستم‌های آبزی‌پروری به‌منظورکاهش انباشت مواد مغذی به ویژه ترکیبات نیتروژن در سیستم آبکشت میل کرده است (Naegel, 1977; Lewis *et al*., 1978; Sutton and Lewis, 1982; Pierce, 1980). اگرچه پژوهش‌های زیادی در ارتباط با اثر سختی و نقش آن بر ماهی قزل‌آلای رنگین کمان ارایه شده و در بسیاری از منابع میزان ۱۰۰-۱۵ میلی‌گرم در لیتر به عنوان سختی استاندارد بیان شده است ولی اثر آن در سیستم توأم پرورش ماهی و گیاه و عملکرد جذب و تبادل سختی با توجه به ورود غذا در سیستم پرورشی مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

در تعریف سختی کل بیان می‌شود که شامل غلظت برخی از کاتیون ها در آب است و Ca و Mg شایع ترین کاتیون ها در تمام سیستم های آب شیرین است (Boyd, 1979). در این ارتباط با توجه به نوع کاتیون‌های موجود در آب عملکرد متفاوتی قابل پیش‌بینی خواهد بود. به‌عنوان مثال، کلسیم در فرآیندهای بیولوژیک مانند ساخت استخوان، انعقاد خون و سایر عملکردهای سلولی دخالت دارد. ماهی برای این نیازها به‌طور مستقیم از آب و غذا می‌تواند کلسیم را جذب کند. حضور کلسیم آزاد (یونی) در غلظت نسبتاً بالا در آب یا محیط پرورش ماهی باعث کاهش خروج سایر نمک‌ها (مثلا سدیم و پتاسیم) از مایعات بدن ماهی (یعنی خون) می‌شود. سدیم و پتاسیم مهم‌ترین نمک در خون ماهی هستند و برای عملکرد طبیعی قلب، عصب و عضلات حیاتی هستند. در آب با مقدارکلسیم اندک، ماهی‌ها مقادیر قابل توجهی از این نمک‌ها را در آب از دست می‌دهند. ماهی باید از انرژی تولید شده توسط خوراک خود برای جذب نمک‌های از دست رفته استفاده کند. این عامل می تواند انرژی موجود برای رشد را کاهش دهد و ممکن است زمان لازم برای رشد ماهی به اندازه بازار را افزایش دهد. برای بعضی از گونه‌ها کلسیم محیطی برای زندگی مناسب مورد نیاز است. سختی آب را می‌توان با افزودن نمک های حاوی کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند کلرید کلسیم افزایش داد (Yeager, 1994).

یکی از گونه‌های آبزی که خصوصیات مناسبی جهت پرورش در سازگان آکواپونیک دارد، ماهی قزل-آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) است (Lennard and Leonard, 2006). ماهی قزل آلای رنگین کمان یک ماهی تجاری است. این گونه دارای غذاگیری مناسب، رشد سریع، مقاومت در برابر بیماری‌ها و تولید قابل اطمینان در شرایط مزرعه است و به همین علت پرورش آن به‌عنوان یک گونه پرورشی توسعه بیشتری یافته است و یکی از ماهیان پر تولید در صنعت آبزی‌پروری است که با توجه به کیفیت گوشت و بازارپسندی به‌عنوان یک گونه ارزشمند در میان ماهیان سردآبی پرورشی محسوب می شود (Hebb *et al*., 2003). ترکیب آبزی‌پروری با تکنیک هیدروپونیک می‌تواند با کاهش آلودگی و افزایش سودآوری از طریق مصرف آب کمتر، علاوه بر پرورش ماهی (McMurtry and Croft, 1997)، تولید محصولات جانبی را شامل شود (Rakocy *et al*., 2000).

گیاهان در سیستم‌های مدار بسته، می‌توانند به منظور کاهش نگرانی در مورد پساب خروجی ماهی استفاده شوند (Han *et al*., 2017). نشان داده شده است که گیاهان آکواپونیک، از مواد مغذی ورودی به طور موثرتری نسبت به سایر سیستم‌های رشد استفاده می‌کنند، این موضوع ناشی از این واقعیت است که گیاهان آکواپونیک بدون افزودنی‌هایی موجود در کودهای شیمیایی تولید می‌شوند (FAO, 2007). پساب ماهی همه‌ی عناصر مورد نیاز برای

www.SID.ir

Archive of SID

رشد گیاه از قبیل نیترات، فسفر و پتاسیم را فراهم می کند (Goddek *et al.*, 2015). گیاه کاهو با نام علمی *Lactuca sativa* از تیره کاسنی‌ها Asteraceae (Compositae) و دارای واریته‌های مختلف است. با توجه به شرایط محیطی مناسب برای کشت گیاه کاهو، به‌خصوص شرایط دمایی مناسب، این گیاه می‌تواند قابل ارایه برای حضور در سازگان آبکشت در گلخانه باشد. داده‌ها نشان می‌دهد که این گیاه را می‌توان به‌عنوان گونه گیاهی مناسب جهت کشت توأم گیاه و آبزی بکار برد، بنابراین، به‌عنوان یکی از گزینه‌های مناسب جهت پرورش در سازگان کشت توأم آکواپونیک قابل طرح است (Mulabagal *et al.*, 2010). مطابق آمارهای فائو، تولید تیپ‌های مختلف کاهو طی دو دهه اخیر در دنیا از نظر رشد افزایش سطح زیرکشت پس از ذرت، برنج، سیب زمینی و گوجه فرنگی در رتبه پنجم جهانی قرار گرفته است (FAO, 2007). با توجه به شرح بالا، و نیاز به بررسی اثر سختی در کشت توأم ماهی قزل آلای رنگین کمان و گیاه کاهو، در راستای افزایش کارایی سیستم پرورش توأم ماهی و گیاه، در این پژوهش تأثیر سختی کل در سیستم توأم پرورش ماهی قزل آلای رنگین کمان و گیاه مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تعداد ۹۰ قطعه ماهی قزل آلای رنگین کمان با میانگین وزن ۱/۵±۴۵/۰۰ گرم از یک مرکز پرورشی خصوصی در روستای برغان (ماهی سرای برغان) واقع در استان البرز تهیه گردید. ماهی‌ها به کارگاه تکثیر و پرورش آبزیان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) انتقال داده شدند و پس از بررسی‌های ظاهری و اطمینان از سلامت ظاهری به‌منظور سازگاری با شرایط محیطی جدید به‌مدت یک هفته در مخازن ۱۰۰۰ لیتری فایبرگلاس در فضای آزاد با دورهٔ نور طبیعی و تعویض آب روزانه ۲۰ درصد نگهداری شدند که در طی این مدت با غذای تجاری قزل آلای رنگین کمان (شرکت ساخت غذای آبزیان فرادانه، ۳۹ درصد پروتئین، ۱۱ درصد چربی و ۱۵ درصد کربوهیدرات) طی دو نوبت در روز ساعت ۷:۰۰ و۱۹:۰۰ به میزان ۲ درصد وزن بدن تغذیه شدند. پس از پایان دورهٔ سازگاری، جهت شروع آزمایش ماهی‌ها به‌طور تصادفی در ۹ مخزن فایبرگلاسی ۳۰۰ لیتری توزیع شدند (۱۰ عدد ماهی در هر واحد) (FAO, 2014) و تحت اثر تیمارهای آزمایش قرار گرفتند.

طرح و واحدهای آزمایش: واحد آزمایش شامل یک مخزن نگهداری ماهی به حجم نگهداری ۳۰۰ لیتر آب و یک مخزن پرورش گیاه به حجم ۹۰ لیتر بود که در بالای مخزن پرورشی قرار داده شد و از طریق یک پمپ مکشی، آب از مخزن پرورش ماهی وارد مخزن نگهداری گیاه گردید. روی هر مخزن گیاه، یک صفحه یونولیتی قرار گرفت. هر صفحه دارای ۲۰ حفره جهت قرار گرفتن گلدان‌های کشت گیاه کاهو بود. در هر حفره یک عدد گلدان پلاستیکی حاوی نشاء کاهو بود که هر یک در داخل، یک حفره در صفحه یونولیتی قرار داده شد. آب پس از عبور از گلدان‌ها توسط یک فیلتر مکانیکی، تصفیه شد. هر گلدان حاوی خاکی شامل۳۰ درصد کوکوپیت و ۱۵ درصد ماسه بادی، ۵۵ درصد پرلیت بود و ۳ سانتی-متر از انتهای هر گلدان درون آب مخزن کوچک‌تر قرار داشت. طول دوره آزمایش ۶۰ روز بود و هیچ‌گونه تعویض آبی در هیچ یک از مخازن آب در طول دوره (به جز ۱۰ لیتر آب که به طور هفتگی برای جبران تبخیر اضافه شد) پرورش صورت نگرفت. تیمارهای آزمایش را سطوح مختلف ورودی سختی کل به شرح زیر تشکیل دادند.

تیمار (۱): سیستم پرورشی بدون ورود سختی کل (کلسیم کلرید) (میزان سختی کل در این حالت ۱۴۰ میلی‌گرم در لیتر است)

تیمار (۲): سیستم پرورشی با ورود ۱۰۰ میلی‌گرم سختی کل (کلسیم کلرید)(میزان سختی کل در این حالت ۲۴۰ میلی‌گرم در لیتر است)

تیمار (۳): سیستم پرورشی با ورود ۲۰۰ میلی‌گرم سختی کل (کلسیم کلرید) (میزان سختی کل در این حالت ۳۴۰ میلی‌گرم در لیتر است)

افزودن کلسیم کلرید: کلسیم کلرید مورد استفاده در این تحقیق از شرکت داروسازی Merck آلمان تهیه گردید. سطوح مختلف کلسیم کلرید (۰ ، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به‌صورت هفتگی به آب افزوده شد. کلسیم کلرید در آب ورودی ۱۴۰ میلی‌گرم در لیتر بود که به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد.

www.SID.ir

Archive of SID

سنجش شاخص‌های رشد و تغذیه: در پایان دورهٔ آزمایش، غذادهی برای مدت ۲۴ ساعت متوقف گردید و پس از آن تمام ماهیان هر مخزن برداشت شدند و جهت آرام‌سازی به‌مدت ۵ دقیقه در محلول ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پودر گل میخک قرار گرفتند (Torrecillas *et al*., 2011). در انتها وزن و طول تمام ماهی‌ها به ترتیب توسط ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم و خط‌کش بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد و شاخص رشد و بقا توسط فرمول‌های زیر محاسبه گردید (Kitabayashi *et al*., 1971):

درصد افزایش وزن (گرم) = [(میانگین وزن نهایی- میانگین وزن اولیه) / میانگین وزن اولیه] ×۱۰۰

ضریب رشد ویژه (درصد در روز) = (لگاریتم طبیعی وزن نهایی - لگاریتم طبیعی وزن اولیه) / تعداد روزها

ضریب تبدیل غذایی = گرم غذای خورده شده / گرم افزایش وزن

ضریب کارایی پروتئین = گرم افزایش وزن / گرم پروتئین دریافتی

درصد بقاء = (تعداد نهایی ماهیان – تعداد اولیه ماهیان) × ۱۰۰

شاخص‌های رشد گیاه کاهو: در پایان دوره آزمایش تمامی لیوان‌ها از آب خارج گردید، محتویات و خاک درونشان تخلیه شد و به وسیله آبشویی به شکل بسیار آرام و با احتیاط کامل، خاک اطراف ریشه کاهو حذف گردید. به شکلی که بدون ضربه و آسیب به ریشه‌ها و بوته‌ها تمامی خاک اطرافشان شستشو شد. سپس وزن ریشه‌ها، وزن بوته ها و طول برگ‌ها اندازه‌گیری گردید. همچنین در طول آزمایش، پس از شکوفایی کامل برگ و گلدهی جداسازی شد و طول دقیق آن‌ها توسط کولیس مورد سنجش قرار گرفت (FAO, 2014).

سنجش شاخص‌های بیوشیمیایی خون ماهی: در پایان دورهٔ آزمایش، ماهیان بیومتری و خونگیری (سیاهرگ ساقه دمی) شدند، به این صورت که از هر تیمار سه ماهی به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. تغذیه ماهیان ۲۴ ساعت قبل از خونگیری قطع شد و سپس ماهیان در محلول پودر گل میخک به میزان ۲۰۰ppm بیهوش شدند و خونگیری از سیاهرگ ساقه دمی آن‌ها با استفاده از سرنگ ۲/۵ میلی‌متری میزان ۱/۵ سی‌سی انجام شد (Torrecillas *et al*., 2011). شاخص‌های بیوشیمیایی خون شامل هماتوکریت (Hct)، هموگلوبین (Hb)، تعداد گلبول های قرمز (RBC)، متوسط هموگلوبین گلبولی (MCH)، حجم متوسط گلبولی (MCV) و غلظت متوسط هموگلوبین داخل گلبول قرمز (MCHC) (Henry, 1996) آنالیز و اندازه‌گیری شدند.

روش‌های اندازه‌گیری پیراسنجه فیزیکوشیمیایی آب: غلظت اکسیژن محلول در آب (DO) و دمای آب مخازن پرورشی سه بار در هفته به‌ترتیب با دستگاه اکسیژن‌متر و دماسنج لوترون مدل DO-5510 اندازه‌گیری شد. برای اندازه-گیری میزان اکسیداسیون و احیا (ORP) نیز از دستگاه ORP متر پرتابل AZ Instrument مدل ۸۶۵۱ استفاده شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب (EC) و pH، به‌ترتیب از دستگاه های (HANA, HI 8033) و pH سنج Orion (مدل 410A) استفاده شد.

غلظت آمونیاک کل، نیترات و فسفات هر ۲ هفته یکبار، با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری و طیف سنجی مورد سنجش قرار گرفت. طول موج مورد استفاده برای آمونیاک کل، نیترات و فسفات به‌ترتیب ۴۳۷، ۵۰۰ و ۶۹۰ بود (American Public Health Association, 1995).

تجزیه و تحلیل های آماری: ابتدا نرمال بودن تمام داده‌ها توسط آزمون شاپیرو-ویلک سنجش گردید و سپس مقایسه میانگین ها با آزمون آنالیز واریانس یک طرفه ANOVA مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای تعیین سطح معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) میانگین داده‌ها بین تیمارها استفاده شد. تمام داده‌ها به صورت میانگین ± انحراف معیار ارائه گردید. برای تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها، از نرم‌افزار تحت ویندوز SPSS نسخه ۲۴ استفاده گردید.

نتایج

عملکرد رشد و بقاء ماهی: شاخص‌های رشد از قبیل درصد افزایش وزن و نرخ رشد ویژه، نرخ تبدیل غذایی و نرخ کارایی پروتئین ماهیان تغییر معنی‌داری را در بین تیمارها نشان نداد ($P\geq$۰/۰۵). نرخ بقاء با افزایش سختی کل افزایش یافت. تیمار ۱ در مقایسه

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- شاخص‌های رشد ماهی در بین تیمار های آزمایش در پایان دوره.

تیمار ها	وزن اولیه (گرم)	وزن نهایی (گرم)	درصد افزایش وزن نهایی	نرخ رشد ویژه (درصد در روز)	ضریب تبدیل غذایی	نرخ کارایی پروتئین	درصد بقا
۱	۰/۱۷±۴۵/۲۶^{a}	۱۲/۲۹±۷۳/۲۲^{a}	۲۶/۶۸±۶۱/۷۲^{a}	۰/۳۴±۲/۳۵^{a}	۲/۱۲±۲/۸۰^{a}	۰/۹۴±۱/۹۳^{a}	۵/۷۷±۲۳/۳۳^{b}
۲	۰/۰۳±۴۵/۳۵^{a}	۸/۷۶±۸۵/۶۷^{a}	۱۹/۲۰ ±۸۸/۸۷^{a}	۰/۱۶±۲/۶۶^{a}	۰/۰۷ ۱±/۸۳^{a}	۰/۲۹±۱/۱۹^{a}	۱۷/۷۰ ±۳۴^{a}
۳	۰/۲۳±۴۵/۳۸^{a}	۵/۲۹±۸۰/۷۵^{a}	۱۰/۷۹±۷۷/۸۸^{a}	۰/۱±۲/۵۷^{a}	۰/۳۲۷±۲/۳۳^{a}	۰/۱۸±۱/۳۳^{a}	۵/۷۷±۵۶/۶۶^{a}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست ($P<۰/۰۵$).

جدول ۲ – شاخص‌های رشد گیاه در بین تیمار های آزمایش در پایان دوره.

تیمار ها	طول اولیه برگ (میلی متر)	طول نهایی برگ(میلی متر)	عرض اولیه برگ (میلی متر)	عرض نهایی برگ (میلی متر)	طول اولیه بوته (سانتی متر)	طول نهایی بوته (سانتی متر)	وزن اولیه بوته (گرم)	وزن تر بوته (گرم)	وزن خشک بوته (گرم)	طول ریشه (سانتی متر)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)
۱	۰/۱۵±۲۰/۶۶^{a}	۱۸۸±۲/۶۴^{b}	۰/۵۷±۱۰/۳۳^{a}	۲/۵۱±۷۲/۶۶^{b}	۰/۰±۱ ۳^{a}	۱۰/۹۶±۴۸/۶۶^{a}	۰/۰۰۱±۰/۱۱۳^{a}	۱۰/۸۷±۳۰/۷۷^{b}	۱/۰۸±۸/۸۶^{b}	۶/۹۵±۳۳/۰۶^{a}	۰/۶۳±۵/۹۳^{b}	۰/۲۵±۲/۲۷^{b}
۲	۰/۵۷±۲۰/۶۶^{a}	۴/۰۴±۱۳۹/۳۳^{a}	۱۰±۱ ^{a}	۴/۹۳±۵۷/۶۶^{a}	۰/۰۵±۳/۱۳^{a}	۲/۵۱±۵۱/۳۶^{a}	۰/۰۰۶±۰/۱۱۷^{a}	۱/۱۶±۱۳/۴۰^{a}	۰/۷۳±۳/۴۷^{a}	۹/۵۶±۳۶/۹۸^{a}	۰/۵۶±۳/۸۰^{a}	۰/۲۱± ۰/۵۹^{a}
۳	۲۰±۲^{a}	۲/۵۱ ±۱۴۲/۶^{a}	۰/۷۰±۱۰/۶۶^{a}	۵/۸۵±۵۶/۳۳^{a}	۰/۱۵±۳/۱۳^{a}	۲/۵۱±۴۷/۳۳^{a}	۰/۰۰۲±۰/۱۱۵^{a}	۱/۰۹±۱۳/۶۱^{a}	۰/۴۱۶±۴/۹۲^{a}	۵/۸۷±۳۴/۴۳^{a}	۰/۶۵±۳/۱۷^{a}	۰/۱۷± ۰/۶۴^{a}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست ($P<۰/۰۵$).

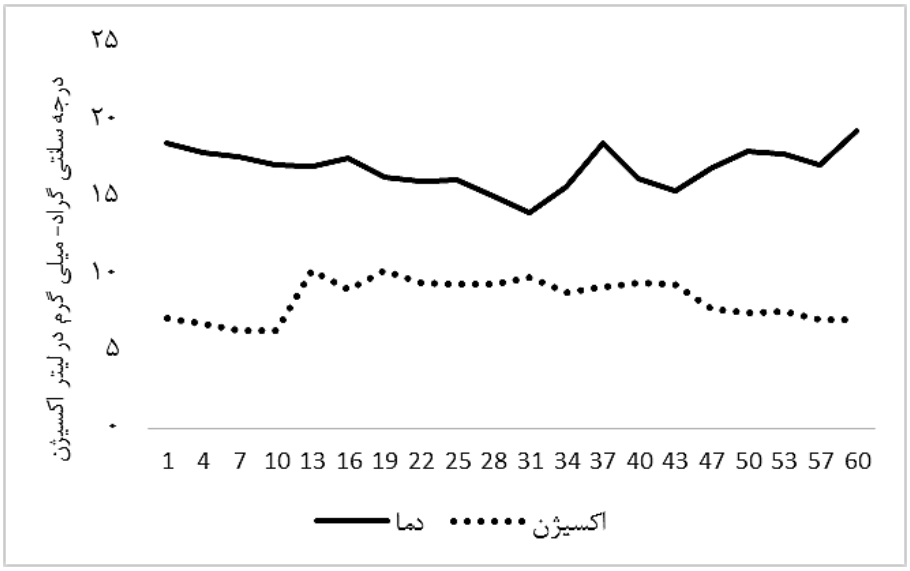
جدول ۳ – شاخص‌های بیوشیمیایی خون ماهی در بین تیمار های آزمایش پایان دوره.

تیمار ها	RBC (mm^3/۱۰^{۶})	HGB (g/dL)	HCT (%)	MCV (μm^3)	MCH (pg)	MCHC (g/dL)	CA (mg/dL)
۱	۰/۲۴±۱/۰۹^{a}	۲/۱۷±۸/۵۰^{a}	۶/۲۹±۲۵/۸۶^{a}	۴/۶۱±۲۳۵/۳۳^{a}	۲/۸۵±۷۷/۲۰^{a}	۰/۷۲±۳۲/۷۶^{a}	۰/۷۵±۱۰/۱۳^{a}
۲	۰/۰۱±۰/۹۹^{a}	۰/۲±۷/۹۰^{a}	۱/۴۵±۲۳/۸۰^{a}	۵/۵۰±۲۳۰/۶۶^{a}	۱/۴۷±۷۷/۹۶^{a}	۰/۷۷±۳۴/۱۶^{a}	۰/۲۵±۱۱/۳۶^{b}
۳	۰/۱۳±۱/۱۵^{a}	۰/۲۵±۸/۹^{a}	۳/۹۲±۲۷/۲۳^{a}	۷/۷۶±۲۳۵/۳۳^{a}	۳/۶۱±۷۶/۹۶^{a}	۰/۹۵±۳۲/۷۰^{a}	۰/۲۳±۱۰/۰۶^{a}

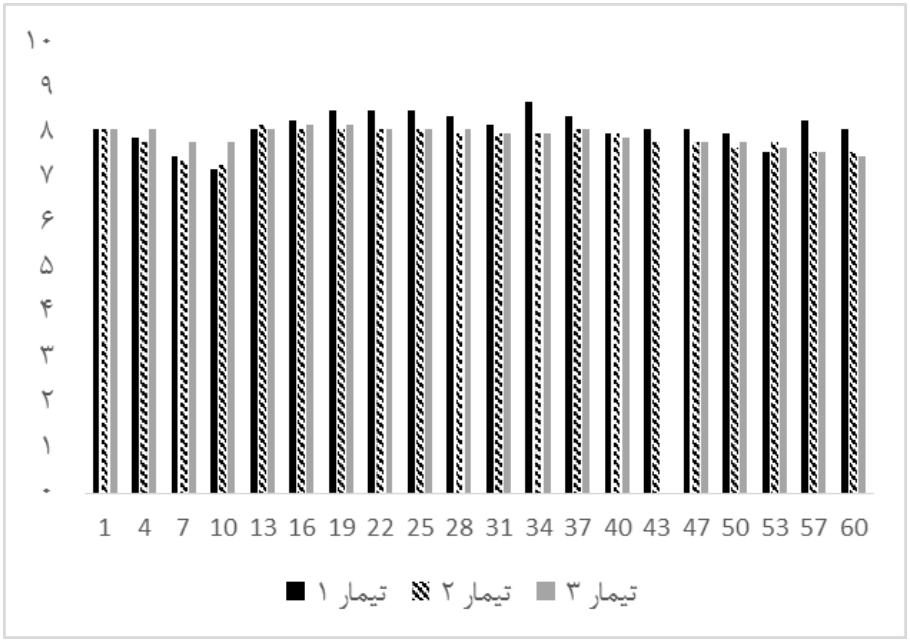
حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست ($P<۰/۰۵$).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ - تغییرات دما و اکسیژن در طول دوره ی ۶۰ روزه.



شکل ۲ - تغییرات پی اچ در طول دوره ی ۶۰ روزه.

با تیمارهای ۲ و ۳ از نظر نرخ بقاء دارای تفاوت معنی‌داری بود ($P<۰/۰۵$) (جدول ۱).

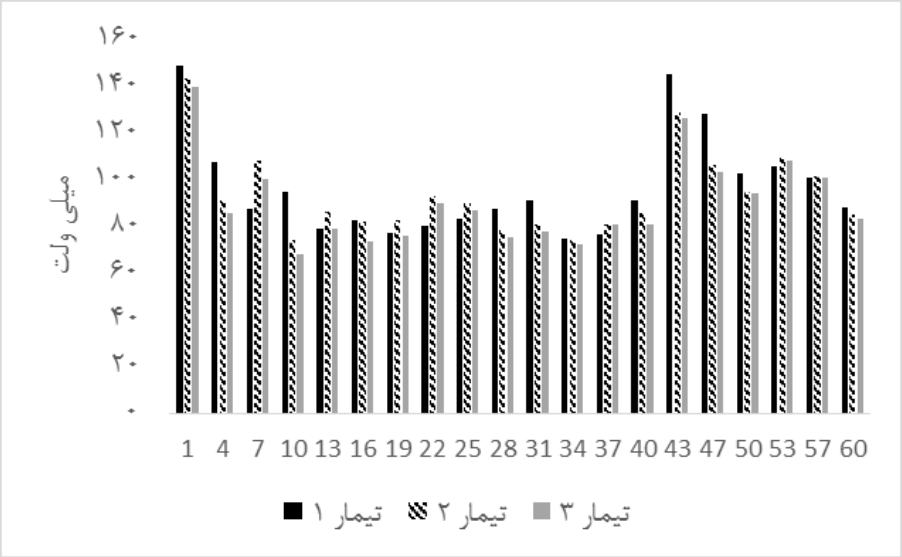
عملکرد رشد گیاه کاهو: شاخص‌های رشد از قبیل طول نهایی برگ، عرض نهایی برگ، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه تفاوت معنی‌داری را در بین تیمار یک با تیمارهای ۲ و ۳ نشان دادند ($P<۰/۰۵$) (جدول ۲). میزان شاخص‌های رشدی گیاه کاهو با افزایش میزان سختی کل، کاهش یافت و این کاهش دارای تفاوت معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$).

شاخص‌های بیوشیمیایی سرم خون ماهی: شاخص‌های خونی در این تحقیق شامل هماتوکریت (Hct)، حجم متوسط گلبولی (MCV)، هموگلوبین (HGB)، تعداد گلبول‌های قرمز (RBC)، غلظت متوسط هموگلوبین داخل گلبول قرمز(MCHC) و هموگلوبین گلبولی (MCH) فاقد تفاوت معنی‌دار بودند ($P\geq۰/۰۵$). اما میزان کلسیم موجود درپلاسما در تیمار ۲ نسبت به تیمارهای دیگر تفاوت معنی-داری را نشان داد ($P<۰/۰۵$) (جدول ۳).

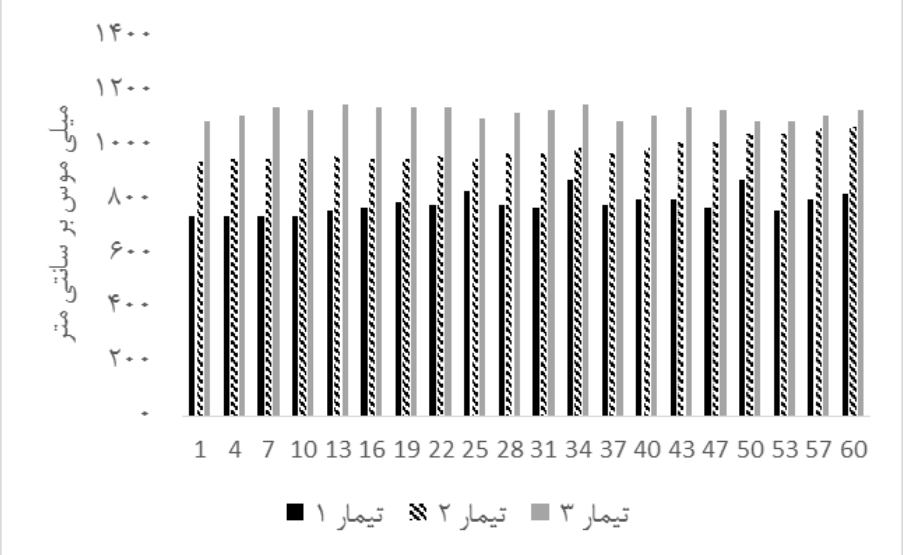
پیراسنجه‌های شیمیایی کیفیت آب: در حین

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ - تغییرات شاخص ORP در طول دوره ی ۶۰ روزه.



شکل ۴ - تغییرات شاخصEC در طول دوره ی ۶۰ روزه.

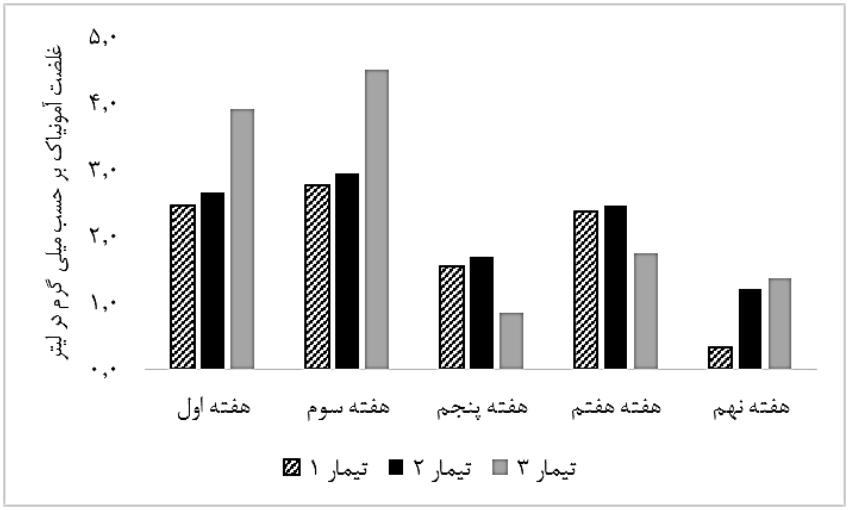
آزمایش مقدار غلظت اکسیژن در مخزن پرورش ماهی کافی بود و دامنه تغییراتی بین ۷/۵ تا ۸/۵ میلی‌گرم بر لیتر را داشت. دمای آب در طول دوره ی آزمایش دارای تغییرات بین ۱۷/۵ تا ۱۹/۵ بود (شکل ۱). در ابتدای آزمایش، مقدار pH آب شروع به کاهش کرد و پس از آن افزایش یافت (شکل ۲).

در طول آزمایش مقدار اکسیداسیون و احیا (ORP) در شروع آزمایش در حدود ۱۴۲/۳ میلی ولت بود و با گذشت زمان میزان آن کاهش یافت (شکل ۳). هدایت الکتریکی آب (EC) به‌طور مداوم افزایش یافت و از ۰/۸۶ میلی‌موس بر سانتی‌متر در شروع آزمایش به بیش از ۱۰۰ میلی‌موس در سانتی‌متر رسید (شکل ۴).

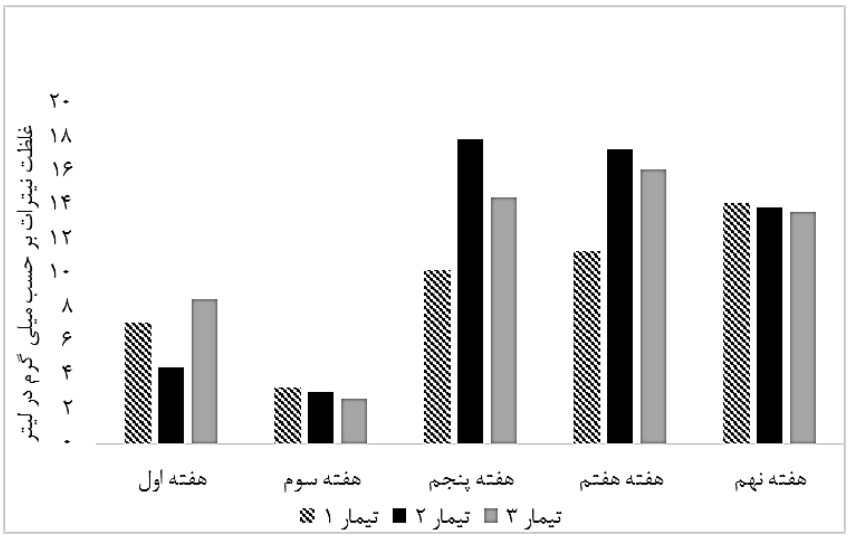
میزان غلظت آمونیاک در طول دوره آزمایش تغیرات زیادی را از خود نشان داد. ابتدا و با شروع آزمایش در هر ۳ تیمار افزایش یافت. اما میزان آمونیاک در تیمار ۱ نسبت به تیمارهای ۲ و ۳ کمتر بود. پس از هفته پنجم غلظت آن کاهش یافت. در هفته‌ی پنجم میزان غلظت آمونیاک در تیمار ۳ نسبت به تیمار ۱ و ۲ دارای میزان کمتری بود. پس از هفته پنجم میزان آمونیاک افزایش یافت و تقریباً در میزان غلظت معینی ثابت ماند. در پایان دوره میزان غلظت تیمار ۱ نسبت به تیمار های ۲ و ۳ کمتر بود (شکل ۵). میزان نیترات در ابتدای دوره کم

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵ - تغییرات میزان غلظت آمونیاک در طول دوره.



شکل ۶ - تغییرات میزان نیترات در طول دوره.

بود و در طول دوره بر میزان آن افزوده شد. در هفته ۵ ام به بالاترین میزان خود رسید و سپس با اندک کاهش ثابت ماند. بالاترین میزان نیترات متعلق به تیمار ۲ در طول دوره بود (شکل ۶).

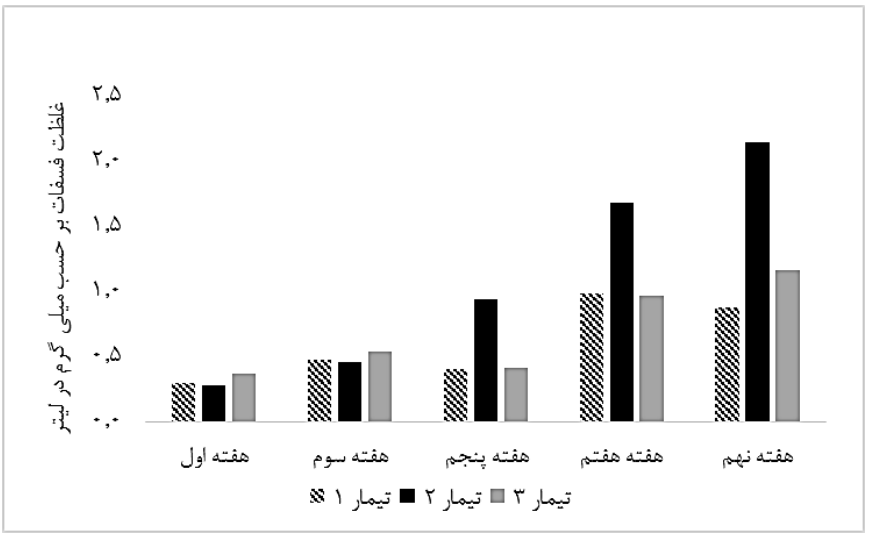
غلظت فسفات در طول دوره آزمایش افزایش یافت. در پایان هفته نهم به بالاترین میزان خود رسید. تیمار ۲ نسبت به سایر تیمارها دارای میزان غلظت فسفات بالاتری بود (شکل ۷). در طول دوره پرورش مقدار سختی کل در تیمارهای ۱ و ۲ کاهش یافت، اما تیمار ۳ در محدوده‌ی مشخص ثابت ماند (شکل ۸).

بحث

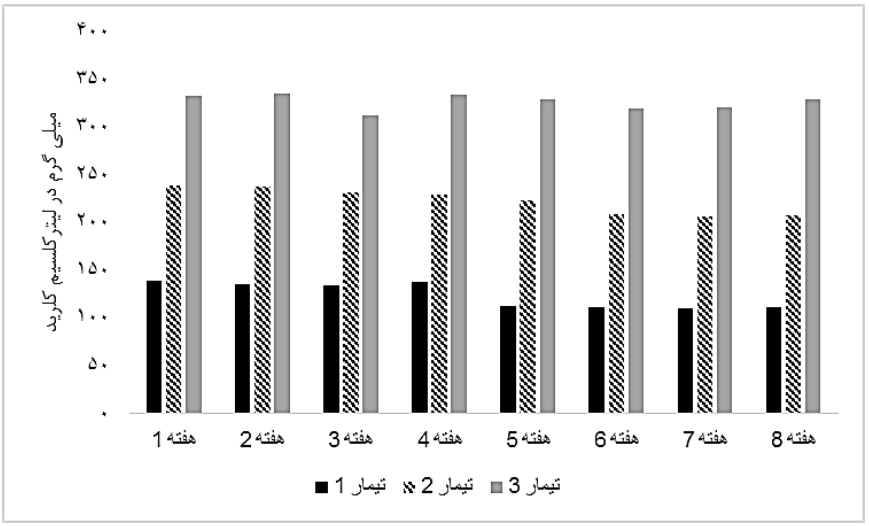
در این پژوهش، تأثیر افزایش سختی کل بر عملکرد سیستم پرورشی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان و گیاه کاهو به صورت سیستم مدار بسته آکواپونیک مورد ارزیابی قرار گرفت. در حیوانات آبزی، Ca به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مواد معدنی شناخته شده است و برای رشد طبیعی ضروری است (NRC, 2011). طبق گزارش Rafiee و Saad (۲۰۰۵) ماهی تیلاپیا و گیاه هیدروپونیک حداکثر می‌توانند به‌ترتیب حدود ۲۶/۸۱ و۱۵/۷۱ درصد کلسیم موجود در غذا و پساب را جذب کنند. بنابراین ماهی و گیاه برای رفع نیاز این عنصر نیازمند کلسیم موجود در آب می‌باشند. علی-رغم این‌که ماهیان قادرند فسفر را از آب جذب کنند، به‌دلیل میزان کم فسفرهای طبیعی و نرخ پایین بازجذب آن ، جیره ی غذایی منبع اصلی فسفر می باشد اما کلسیم مورد نیاز از طریق آب جذب می‌شود

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷ - تغییرات فسفات در طول دوره.



شکل ۸ - تغییرات سختی در طول دوره.

Divanach *et al*., 1996; Boglione *et al*., 2001). نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطح سختی کل، افزایش قابل توجه‌ای در بهبود شاخص‌های رشد ماهی قزل‌آلای رنگین کمان ایجاد می‌شود. میزان افزایش وزن و درصد افزایش آن با افزایش دوز سختی کل تا ۱۰۰ میلی‌گرم یا غلظت ۲۴۰ رابطه‌ی مستقیمی نشان داد، بنابراین نیاز به تنظیم سطح غلظت سختی کل و افزایش رشد طبیعی ماهی در محیط پرورش، امری اجتناب ناپذیر است. گزارش شده است که عوامل فیزیکوشیمیایی آب به‌خصوص میزان غلظت یون کلسیم و منیزیم بر جذب سایر عناصر در فرایند های زیستی تأثیر دارد (Buttner *et al*., 1993). با تنظیم عناصر تعیین کننده‌ی کیفیت آب می‌توان ضریب تبدیل غذایی را کاهش داد (Rafiee and Saad, 2005). در این پژوهش نشان داده شد با افزایش میزان سختی کل در آب و تنظیم آن امکان افزایش میزان رشد ماهی قزل‌آلای رنگین کمان وجود دارد. ضریب تبدیل غذایی نیز دارای کاهش معنی‌دار بود. افزایش میزان رشد ماهی و کاهش ضریب تبدیل نشان دهنده افزایش کارایی سیستم پرورشی محسوب می‌شوند. طبق مطالعات Nelson و Cox (۲۰۰۵) افزایش سختی آب تا ۱۷۵ میلی‌گرم در لیتر بر رشد ماهی (*Pimephales promelas*) اثر داشت و رشد و بقاء ماهی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. با افزایش رشد و کاهش ضریب تبدیل غذایی در سیستم پرورشی، کاهش آلودگی آب محیط پرورش نیز به جهت کاهش میزان غذادهی حاصل شد که این

www.SID.ir

Archive of SID

موضوع درصورتی که ماهیان تحت استرس باشند، به سبب اختلال در وضعیت متابولیکی آن‌ها، اهمیت بیشتری را دارد. میزان درصد بقاء اختلاف معنی‌داری را بین تیمار یک در مقایسه با تیمار ۲ و ۳ نشان داد. بهترین غلظت سختی کل در این آزمایش با افزایش ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در آب ورودی (تیمار ۲) به ثبت رسید. در این ارتباط گزارش شده است که حضور کلسیم بیشتر در آب باعث کاهش نفوذ پذیری سدیم و کلر در پوست و آبشش ماهیان گلدفیش و قزل‌آلا قهوه‌ای می‌شود و مرگ و میر را در حین پرورش کاهش می‌دهد (Hunn, 1985). در تحقیق حاضر افزایش کلسیم باعث افزایش وزن ماهی قزل-آلای رنگین کمان شد اما این افزایش وزن فاقد تفاوت معنی‌دار بود که با تحقیق ماهی سی‌باس ژاپنی (*Lateolabrax japonicus*) (Song *et al.*, 2016)، ماهی سالمون آتلانتیک (Kousoulaki *et al.*, 2010)، عقرب ماهی (Hossain and Furuichi., 2000)، ماهی سوف (Song *et al.*, 2009) و ماهی هامور (Ye *et al.*, 2006) مشابه بود. سطح کلسیم و فسفر اغلب بر جذب کلسیم و فسفر و رسوب آن‌ها در استخوان اثر می‌گذارد (Zhang *et al.*, 2006). کمبود کلسیم باعث ناهنجاری‌های ستون فقرات ماهی می‌شود و قدرت مکانیکی ماهی کاهش می‌یابد (Fjelldal *et al.*, 2006) و خطر ابتلا به تغییر شکل در ادامهٔ حیات افزایش می‌دهد و می-تواند به مرگ منجر شود (Fjelldal *et al.*, 2009). این ناهنجاری ها در سایر گونه های ماهی نیز گزارش شده است (Witten *et al.*, 2005; Deschamps *et al.*, 2009; Kousoulaki *et al.*, 2010). در تحقیق حاضر نیز، تیمار یک با کاهش میزان کلسیم درصد رشد و بقاء کاهش یافت که با نتایج گزارش شده مشابه بود.

با افزایش سختی آب، رشد گیاه کاهو کاهش یافت. همچنین در طول دوره از میزان آمونیاک آب کاسته و بر میزان نیترات و فسفات که از عناصر اصلی مغذی برای گیاه می باشد افزوده شد. Dipu و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که با استفاده از کاهو، pH قلیایی تغییر می‌یابد و سیستم پرورشی به سمت اسیدی شدن میل می‌کند. نتایج مشابهی نیز توسط Mahmood و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شده است و کاهش pH ناشی از عملکرد باکتری‌ها در تجزیه مواد آلی و نیز جذب مواد مغذی و سایر نمک‌ها توسط گیاهان و یا انتشار همزمان یون‌های H^+ با جذب یون‌های فلزی همراه است. طبق گزارش Rafiee و Saad (۲۰۰۵)، میزان فسفر در مدفوع ماهی حدود ۳/۵-۳ درصد اندازه‌گیری شده است که ۱۹/۳۷-۱۳/۶۹ درصد آن توسط سیستم هیدروپونیک جذب شده است. همچنین میزان نیتروژن سیستم پرورشی کاهش و تولید نیترات افزایش یافت که می‌توان به عملکرد باکتری در جهت مصرف آن نسبت داد. این کاهش نیتروژن نشان‌دهنده این است که نیتروژن موجود در مدفوع ماهی طبق فرآیندهای مشخص توسط باکتری‌ها مصرف و نیترات تولید شده است. Awuah و همکاران (۲۰۰۴) از کاهو در مطالعه خود برای تصفیه پساب فاضلاب مداوم استفاده کردند. آن-ها مشاهده کردند که با رشد کاهو از میزان مواد محلول کل در آب (TDS) به میزان ٪۷۰، از کلیفرم ۹۹ درصد، از نرخ مصرف اکسیژن توسط میکرو-ارگانیسم‌ها (BOD) ۹۳ درصد، از نرخ مصرف شیمیایی اکسیژن (COD) ۵۹ درصد، از نیترات ۷۰ درصد، از فسفر کل ۳۳ درصد و از آمونیاک ۹۵ درصد کاسته خواهد شد. طبق گزارش Aoi و Hayashi (۱۹۹۶)، کاهو یون‌های آمونیوم را از آب جذب می-کند، زیرا آمونیوم (NH4-N) قبل از نیترات (NO3-N) به‌عنوان منبع نیتروژن جذب می‌شود ولی مصرف NO3-N در درجه اهمیت بعدی قرار دارد و در حضور این یون ها در آب ابتدا NH4-N جذب می-شود. Ingersoll و Baker (۱۹۹۸) گزارش دادند که بازده حذف نیترات کاهو آب از ۳۱ تا ۵۱ درصد متغیر است. با توجه به شرح بالا نشان داده شده است که رشد کاهو، EC را در طول دوره به‌دلیل حذف نمک از آب توسط جذب گیاه یا جذب ریشه کاهش می-دهد (Lu, 2009) و امکان بهبود کیفیت آب در طول دوره پرورش توسط کاهو و کاهش فسفات، کل فسفات محلول و غلظت کل فسفات ۱۸ تا ۵۸ درصد وجود دارد. نتایج این تحقیق موارد بالا را تایید می-کند. افزایش فسفات در طول دوره‌ی پرورش را می-توان به مقدار بیش از حد فسفات در مواد دفعی ماهی نسبت داد که گیاه در جذب آن ناتوان است. کاهو می‌تواند غلظت زیادی از فلزات مورد نیاز برای رشد را

www.SID.ir

Archive of SID

در ریشه خود ذخیره کند. غلظت های بالایی از عناصر Ca، Cd، Co، Fe، K، Mg، Mn و Zn دربخش خارجی ریشه ذخیره می‌شوند. طبق مطالعه حاضر با کاهش سختی کل می‌توان کیفیت گیاه نهایی (کاهو) را از نظر شاخص‌های زیستی افزایش داد. به نظر می‌رسد سیستم‌های مدار بسته در آکواپونیک، به‌عنوان بهترین سیستم برای استفاده از مواد مغذی پساب ماهی توسط گیاه هیدروپونیک می‌باشد (Nair *et al*., 1985; Rakocy *et al*., 2000).

تفاوت معنی‌داری در میزان هماتوکریت (Hct)، حجم متوسط گلبولی (MCV)، هموگلوبین (HGB)، تعداد گلبول‌های قرمز (RBC)، هموگلوبین گلبولی (MCH) و هموگلوبین گلبولی (MCH) در بین تیمارها مشاهده نشد. اما ماهیانی که در غلظت سختی ۲۴۰ قرار داشتند (تیمار ۲) نسبت به سایر تیمارها دارای میزان بیشتری کلسیم (تفاوت معنی-دار) در پلاسما ی خون دارا بود که می‌تواند عامل افزایش رشد و درصد بقاء بیشتر نسبت به سایر تیمار-ها را به این موضوع نسبت داد. مشخص شده است که گربه ماهی نقره‌ای، نمی‌تواند سختی کل بیش از ۷۰ میلی‌گرم در لیتر را تحمل کند، علت آنرا می‌توان به توان فیزیولوژیکی ماهی در تحمل pH نسبت داد زیرا افزایش بیشتر کلسیم باعث افزایش بیشتر pH می-شود و اثبات شده است که این ماهی در زمانی که در اندازه انگشت قد است در pHهای متعادل بین ۷/۵-۶/۵ شرایط زیست بهتری را دارد (Davis *et al*., 2005). در مطالعه حاضر، تغییر غلظت کلسیم آب اثرات قابل توجه‌ای بر تعداد RBC، HGB و HCT نداشتند که نشان می‌دهد کلسیم بر ظرفیت حمل اکسیژن و جمع‌آوری دی‌اکسیدکربن تأثیر گذار نیست. سطح کلسیم و فسفر خون برای ارزیابی وضعیت کلسیم و فسفر حیوانات اختصاص یافته است که می‌تواند جذب کلسیم و فسفر را در استخوان نشان دهد (Zhang *et al*., 2006). نشان داده شده است که تغییر سطوح کلسیم پلاسما با مصرف مکمل‌های کلسیم غذایی در کپور سرگنده وجود ندارد، این موضوع نشان می‌دهد که قدرت هوموستازی کلسیم توسط ماهی وجود دارد. نتایج مشابهی در تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*)، کپور علفخوار (*Ctenopharyngodon idella*) (Liang *et al*., 2012) و ماهی آزاد اطلس (Berntssen *et al*., 2003) گزارشی مبنی بر افزایش غلظت کلسیم سرم خون با افزایش میزان کلسیم در جیره غذایی وجود دارد (Song *et al*., 2016). این نتایج گویای این است که گونه‌های مختلف ماهی عکس العمل‌های مختلفی را در جذب کلسیم با تغییر میزان غلظت آن در آب و در جیره غذایی نشان می‌دهند و شرایط محیطی می‌تواند نقش مهمی را در عملکرد های فیزیولوژیک ماهی در جذب و دفع یون کلسیم داشته باشد (Urasa and Wendelaar Bonga, 1987). در این پژوهش نشان داده شد که با افزایش میزان کلسیم، میزان فسفات آب افزایش می‌یابد. رابطه منفی و خطی بین مقدار جذب شده فسفر و محتوای کلسیم در ماهی کپور معمولی مشاهده شده است که به‌دلیل افزایش بیش از حد مکمل کلسیم در رژیم غذایی در این ماهی منجر به کاهش جذب فسفر P توسط روده شده است (Nakamura, 1982). بنابراین در صورت وجود مقادیر بالای کلسیم، ماهی قادر به جذب فسفر نمی-باشد و از بدن ماهی خارج می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده از داده‌های کیفیت آب، شاخص‌های رشد و خون ماهی، شاخص‌های رشد گیاه در این پژوهش، نشان داد که غلظت سختی کلسیم کل ۲۴۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت مناسبی برای کشت توأم ماهی و گیاه در سازگان مداربسته پرورش ماهی قزل آلا و گیاه کاهو می‌باشد.

منابع

American Public Health Association. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th edition. Washington, DC.

Aoi T., Hayashi T. 1996. Nutrient removal by water lettuce (*Pistia stratiotes*). *Water Science and Technology* 34(7-8), 407-412.

Awuah E., Oppong-Peprah M., Lubberding H.J., Gijzen H.J. 2004. Comparative performance studies of water lettuce, duckweed and algal-based stabilization ponds using low-strength sewage. *Journal of the Toxicology and Environmental Health* 67(20-22), 1727-1739.

Berntssen M.H.G., Waagbø R., Toften H., Lundebye A.K. 2003. Effects of dietary

www.SID.ir

Archive of SID

during smoltification and the early seawater phase in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 261, 715-728.

Goddek S., Delaide B., Mankasingh U., Ragnarsdottir K., Jijakli H., Thorarinsdottir R. 2015. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. *Sustainability* 7(4), 4199-4224.

Han Y., Wang J., Zhao Z., Chen J., Lu H., G Liu. 2017. Fishmeal Application Induces Antibiotic Resistance Gene Propagation in Mariculture Sediment. *Environmental Science and Technology* 51(18), 10850–10860.

Hebb C.D., Castell J.D., Anderson D.M., Batt J. 2003. Growth and feed conversion of juvenile winter flounder (*Pleuronectes americanus*) in relation to different proteinto-lipid levels in isocaloric diets, *Aquaculture* 221 (1), 439 - 449.

Henry J.B. 1996. Clinical diagnosis and management by laboratory methods. Academic Press. 1584 p.

Hossain M., Furuichi A. 2000. Essentiality of dietary calcium supplement in redlip mullet *Liza haematocheila*. *Aquaculture Nutrition* 6(1), 33-38.

Hunn J.B. 1985. Role of calcium in gill function in freshwater fishes. *Aquaculture* 82(3), 543-547.

Ingersoll T., Baker L.A. 1998. Nitrate removal in wetland microcosms. *Water Research* 32(3), 677-684.

Kitabayashi K., Kurata H., Shudo K., Nakamura K., Ishikawa S. 1971 .Studies of formula feed fokuruma prawn: I. On the relationship among glucosamine, phosphorus and calcium. *Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory* 65, 91-107.

Klinger D., Naylor R. 2012. Searching for solutions in aquaculture: charting a sustainable course. *Annual Review of Environment and Resources* 37, 247-276.

Kousoulaki K., Albrektsen S., Langmyhr E. Olsen H.J. 2010. The water soluble fraction in fish meal (stickwater) stimulates growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) given high plant protein diets. *Aquaculture* 289(1-2), 74-83.

Lennard W.E., Leonard B.V. 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic Test System. *Aquaculture International* 14(6), 539-550.

Lewis W.M., Yoop J.H., Schramm H.L., Brandenburg A.M. 1978. Use of hydroponics to maintain water quality of recirculated water in a fish culture system. *Transactions of the American Fisheries* cadmium on calcium homeostasis, Ca mobilization and bone deformities in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) parr. *Aquaculture Nutrition* 9(3), 175-183.

Blidariu F., Grozea A. 2011. Increasing the economical efficiency and sustainability of indoor fish farming by means of aquaponics-review. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies* 44(2), 1-8.

Boglione C., Gagliardi F., Scardi M., Cautaudella S. 2001. Skeletal descriptors and quality assessment in larvae and post-larvae of wild-caught and hatchery reared gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 192, 1-22.

Boyd C.E. 1979. Water quality in warmwater fish ponds. Auburn University, *Agricultural Experiment Station* 359.

Buttner J.K., Soderberg R.W., Terlizz D.E. 1993. An introduction to water chemistry in freshwater. *Northeastern Regional Aquaculture Center* 170-181.

Davis D.A., Saoud I.P., Boyd C.E., Rouse D.B. 2005. Effects of potassium, magnesium, and age on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* post-larvae reared in inland low salinity well waters in west Alabama. *World Aquaculture* 36, 403-406.

Dipu S., Kumar A.A., Thanga, V.S.G. 2011. Phytoremediation of dairy effluent by constructed wetland technology. *Environmentalist* 31, 263-278.

Divanach P., Boglione C., Menu M. Kounoundouros G., Kentouri M., Cataudella S. 1996. Abnormalities in finfish mariculture: an overview of the problem, causes and solutions. Sea Bass and Sea Bream Culture: Problems and Prospects. Verona, Italy, October 16–18. *Journal of the European Aquaculture Society*, 45-66.

FAO. 2007. Media fact sheet aquaculture in China and Asia. Retrieved May. 2007. 861-869.

FAO. 2014. Small-scale aquaponic food production. Food and agriculture organization of the United Nations.

Fjelldal P.G., Hansen T., Breck O., Sandvik R., Waagbø R., Berg A., Ørnsrud R. 2009. Supplementation of dietary minerals during the early seawater phase increase vertebral strength and reduce the prevalence of vertebral deformities in fast-growing under-yearling Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt. *Aquaculture Nutrition* 15, 366-378.

Fjelldal P.G., Lock E.J., Grotmol S., Totland G.K., Nordgarden U., Flik G., Hansen T. 2006. Impact of smolt production strategy on vertebral growth and mineralisation

www.SID.ir

Archive of SID

K.A. 2000. Tilapia production systems for the Lesser Antilles and other resource-limited, tropical area. Tilapia Aquaculture in the 21st century, proceeding from the fifth International Symposium on Tilapia Aquaculture 651-662.

Song J.Y., Zhang C.X., Wang L., Song K., Hu S.C., Zhang L. 2009. Effects of dietary calcium levels on growth and tissue mineralization in Japanese seabass, *Lateolabrax japonicas*. *Aquaculture Nutrition* 23(3), 431-648.

Song J.Y., Zhang C.X., Wang L., Song K., Hu S.C., Zhang, L. 2016. Effects of dietary calcium levels on growth and tissue mineralization in Japanese seabass, *lateolabrax japonicus*. *Aquaculture Nutrition* 23(3), 637-648.

Sutton R.J., Lewis W.M. 1982. Further observation on fish production system that incorporated hydroponically grown plants. *The Progressive Fish-Culturist* 44(1), 55-59.

Torrecillas S., Makol A., Caballero M.J., Montero D., Gines R., Sweetman J., Zquierdo M.S. 2011. Improved feed utilization, intestinal mucus production and immune parameters in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed mannan oligosaccharides (MOS). *Aquaculture Nutrition* 17, 223-233.

Urasa F.M., Wendelaar Bonga S.E. 1987. Effects of calcium and phosphate on the corpuscles of Stannius of the teleost fish, *Oreochromis mossambicus*. *Cell and Tissue Research* 249, 681-690.

Ye C.X., Li Y.J., Tian L.X., Mai K.S., Du Z.Y., Yang H.J., Niu J. 2006. Effect of dietary calcium and phosphorus on growth, feed efficiency, mineral content and body composition of juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. *Aquaculture* 255, 263-271.

Yeager D. M. 1994. A System for Increasing Water Hardness in Culture Water at a Soft-Water Striped Bass Production Facility. *The Progressive Fish-Culturist* 56, 56-57.

Zhang C.X., Mai K.S., Ai Q.H., Zhang W.B., Duan Q.Y., Tan B.P., Ma H.M., Xu W., Liufu Z.G., Wang X.J. 2006. Dietary phosphorus requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture* 255, 201-209.

Zou Y., Hu Z., Zhang J., Xie H., Liang S., Wang J., Yan R. 2016. Attempts to improve nitrogen utilization efficiency of aquaponics through nitrifies addition and filler gradation. *Environmental Science and Pollution Research* 23(7), 6671-6679.

Society 107 (1), 92-99.

Liang J.J., Liu Y.J., Yang Z.N., Tian L.X., Yang H.J., Liang G.Y. 2012. Dietary calcium requirement and effects on growth and tissue calcium content of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Aquaculture Nutrition* 18(5), 544-550.

Lu Q. 2009. Evaluation of aquatic plants for phytoremediation of eutrophic stormwaters, Ph.D Thesis, University of Florida, Florida.

Mahmood Q., Zheng P., Islam E., Hayat Y., Hassan M.J., Jilani G., Jin R.C. 2005. Lab scale studies on water hyacinth (*Eichhornia crassipes marts solms*) for biotreatment of textile wastewater. *Caspian Journal of the Environmental Sciences* 3(2), 83-88.

McMurtry J.A., Croft B.A. 1997. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annual Review of Entomology* 42(1), 291-321.

Mulabagal V., Ngouajio M., Nair A., Zhang, Y., Gottumukkala A., Nair M. 2010. In vitro evaluation of red and green lettuce (*Lactuca sativa*) for functional food properties. *Food Chemistry Journal* 118, 300-306.

Naegel L.C.A. 1977. Combined production of fish and plants in a re-circulating water. *Aquaculture* 10, 17-24.

Nair A., Rakocy J.E., Hargreaves J.A. 1985. Water quality characteristics of a closed recirculating system for tilapia culture and tomato hydroponics. Second International Conference on Warm Water Aquaculture Finfish 223-254.

Nakamura Y. 1982. Effects of dietary phosphorus and calcium contents on the absorption of phosphorus in the digestive tract of carp. *Nippon Suisan Gakkaishi* 48, 409-413.

National Research Council (NRC). 2011. Nutrient requirement of fish and shrimp. National Academy Press 202, 334-3062.

Nelson D.L., Cox M.M., Freeman W.H. 2005. Lehninger Principles of Biochemistry. 4th edition. 1013 p.

Pierce B. 1980. Water re-uses aquaculture systems in two green houses in northern Vermont. *Journal of the World Aquaculture Society* 11, 118-127.

Rafiee G., Saad C.R. 2005. Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis* sp.) growth in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture* 244(1-4), 109-118.

Rakocy J., Shultz R.C., Bailey D.S., Thoman E.S. 2003. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. In South Pacific Soilless Culture Conference-SPSCC 648, 63-69.

Rakocy J.E., Baily D.S., Martin J.M., Shultz

www.SID.ir

Archive of SID

The effect of increasing water hardness on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and lettuce (*Lactuca sativa*) growth indices in a combined aquaculture

Erfan salamroodi, Gholamreaz Rafiee*, Kamran Rezaei Tavabe

Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
*Corresponding author: ghrafiee@ut.ac.ir
Received: 2019/1/27 Accepted: 2019/4/1

Abstract

In order to investigate the effects increasing of total hardness in water on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and lettuce plant (*Lactuca sativa*) growth indices in an aquaponics system, 90 rainbow trout fishes and 260 seedlings of lettuce were randomly introduced into 9 experimental unites. Treatments were affected by increasing the total hardness (calcium chloride) concentration of 0, 100 and 200 mg per liter of water (total 140 mg of total water hardness) for 60 days. Growth indices of fish did not show significant differences ($P \geq 0.05$) among treatments, but survival rate showed a significant difference between treatments ($P < 0.05$). Plant growth indices such as leaf length, leaf width, plant fresh weight, plant dry weight, root fresh weight and root dry weight showed significant differences between treatments ($P < 0.05$). The results of blood biochemical indices showed that increasing the total hardness in water, treatment with 100 mg of calcium chloride per liter of water, showed the highest concentration of calcium of the plasma as 11.36±0.25 mg/dl, showing a significant differences compared to other treatments. Other blood indices such as hematocrit (Hct), mean corpuscular volume (MCV), hemoglobin (HGB), red blood cell count (RBC), mean corpuscular hemoglobin (MCH) and concentration of red blood cells (MCHC) were not significantly different ($P \geq 0.05$) between treatments. The results indicated that adding 100 mg L^{-1} of total hardness to water (meaning 240 ppm to water), have a positive effect on the biological conditions of the plant and fish in an aquaponic culture of rainbow trout and lettuce.

Keywords: Total hardness, Lettuce plant, Rainbow trout, Aquaponics.

www.SID.ir