

تأثیر ازن زنی سریالی بر کیفیت آب پرورشی و شاخص‌های رشد بچه ماهی قزل آرای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در سیستم برگشتی

محمد باباپور^۱، غلامرضا رفیعی^{۲*}

۱. دانش آموخته دکتری گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۱۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۲/۲۳

چکیده

با توسعه آبرزی پروری، نیاز به پرورش متراکم‌تر آبزیان و استفاده از آب برگشتی علیرغم کاهش کیفیت آب پرورشی، افزایش یافته است. ازن به‌عنوان یک اکسید کننده قوی می‌تواند باعث تبدیل آمونیاک و نیتريت به نیترات و کاهش کدورت آب شود. از بین روش‌های مختلف تزریق ازن، روش تزریق سریالی نوسان کیفی و اثرات استرسی کمتری نسبت به روش‌های دیگر دارد. این پژوهش در قالب طرح فاکتوریل و بر اساس سه سطح ازن (۱۲۰-۱۰۰-۳۰۰، ۲۵۰-۵۰۰، ۴۵۰-۵۰۰ mV) و تیمار بدون ازن) سه بار در روز به مدت یک ساعت، سه ساعت بعد از غذایی و با دو نرخ تعویض آب (۲ و ۶ درصد حجم کل) در ۳ تکرار انجام شد. تعداد ۲۰ قطعه بچه ماهی $17/2 \pm 2$ گرمی به طور تصادفی در هر واحد آزمایشی توزیع گردید. فاکتورهای کیفیت آب و پارامترهای بیومتری ماهیان سنجش شد. تزریق سریالی ازن به ترتیب موجب افزایش و کاهش معنی‌دار نیترات و نیتريت شد ($P < 0/05$)، هر دو این عوامل در نرخ تعویض ۶ درصد کمتر از ۲ درصد بودند. با وجود این که بالاترین سطح ازن موجب کاهش ۱۷/۶ درصد TDS شد، اما این تغییر از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($P > 0/05$)، همچنین ازن و اثر متقابلش با نرخ تعویض آب بر آمونیاک کل و فسفر کل نیز تاثیر معنی‌دار نشان نداد ($P > 0/05$). از طرف دیگر نرخ تعویض آب بر غلظت مواد محلول کل ($P < 0/01$)، آمونیاک کل و فسفر کل تاثیر معنی‌داری داشت ($P < 0/05$)، در حالی که تاثیر نرخ تعویض آب و اثر متقابل آن با سطوح ازن بر غلظت نیترات و نیتريت معنی‌دار نبود ($P > 0/05$). ازن به‌طور معنی‌داری بر کاهش ضریب تبدیل غذایی (FCR)، افزایش شاخص وضعیت (CF) و نرخ رشد ویژه (SGR) موثر بود ($P < 0/05$)، در حالی که نرخ تعویض آب و اثر متقابل آن با ازن در این موارد تاثیر معنی‌داری نداشت ($P > 0/05$). در کل، نتایج حاکی از بهبود شاخص‌های کیفی آب پرورشی می‌باشد، بنابراین بالاترین سطح ORP معادل ۴۵۰-۵۰۰ mV با بیشترین نرخ تعویض آب معادل ۶ درصد موجب کاهش ضریب تبدیل غذایی و بهبود شاخص وضعیت و نرخ رشد ویژه گردید، که می‌تواند الگوی مناسبی برای سیستم‌های فوق متراکم و مدار بسته پرورش ماهی باشد.

واژگان کلیدی: پرورش فوق متراکم، کیفیت آب، ازن زنی، آب برگشتی.

۱. مقدمه

با توسعه روز افزون آبرزی پروری (به‌طور متوسط سالانه نه درصد) (FAO, 2015) چه از جهت تنوع و چه از جهت مقدار تولید آبرزیان، نیاز به پرورش تراکم-تر آبرزیان احساس می‌شود. استفاده از آب برگشتی به عنوان یکی از بهترین روش‌های افزایش تراکم تولید و استفاده حداکثری از آب مطرح است (Badiola et al., 2012). این درحالی است که افزایش تراکم آبرزیان با کاهش کیفیت آب پرورشی همراه است (Rafatnezhad et al., 2008). این مسئله هنگامی برجسته‌تر است که به‌دلیل کمبود منابع آبی، آبرزی پرور ناگزیر به استفاده از سیستم برگشتی آب با نرخ اندک باشد. در این راستا، نشان داده شده است که تعویض اندک آب موجب تجمع ارتوفسفات-P، نیترات و فلزات سنگین در لارو کپور معمولی شده (Martins et al., 2009). همچنین، افزایش TSS، مقدار مس محلول و مواد ذره‌ای ریز به‌دنبال کاهش نسبت آب تازه به آب برگشتی با بدشکلی اسکلتی در آزاد ماهیان همراه بوده است (Davidson et al., 2009). بر این اساس، واضح است که با افزایش تراکم پرورشی، کیفیت آب و شرایط پرورشی کاهش می‌یابد، لذا به‌کارگیری راهکارهای پیشرفته مهندسی آبرزیان از قبیل استفاده از انواع فیلترها، هوادهی و اکسیژن دهی، دستگاه‌های ضدعفونی UV و ازن ژنراتور، و فوم فرکشنرها برای جبران این مسائل امری ضروری است. در این میان، استفاده از ازن به عنوان اکسید کننده و ضدعفونی کننده قوی در سال‌های اخیر مورد توجه بوده است.

ازن با نماد O_3 گازی بی رنگ است که می‌تواند موجب تبدیل آمونیاک و نیتريت به نیترات (Gongalves and Gagnon, 2011)، حذف کربن آلی و کاهش BOD و COD، کاهش کدورت آب و مولکول‌های غیر قابل تجزیه (Summerfelt et al., 2003)، و کاهش اثرات تجمع پتاسیم در سیستم‌های با تراکم بالا شود (Davidson et al., 2011). اما حضور ازن بیش از اندازه در محیط پرورشی، موجب صدمه‌های از قبیل بروز استرس اکسیداتیو، افت فاکتورهای هماتولوژیک، آسیب به گلبول‌های قرمز، صدمه به اپیتلیال لاملاهای آبششی، تشکیل سلول‌های گرانوله اتوزینوفیل در اپیتلیال آبشش، افزایش

کورتیزول، افزایش سطح سدیم و کلراید خون، عدم تعادل اسمولالیتیه سرم، کاهش رشد و نهایتاً مرگ ماهیان می‌شود (Xian et al., 2015; Fukunaga et al., 1992; Wedemeyer et al., 2003; Ritola et al., 2000; Summerfelt, 2003; Reiser, 2011). لذا ورود کنترل نشده ازن به سیستم‌های پرورشی می‌تواند موجب صدمه فیزیولوژیک به آبرزی پرورشی شود. بنابراین، استفاده دقیق و کنترل شده آن بسیار ضروری می‌باشد. تزریق ازن در آب پرورش ماهی به سه روش تزریق پیوسته، روش توده‌ای و روش دوره‌ای انجام می‌شود. تزریق پیوسته به صورت دائمی است، در حالی که تزریق توده‌ای همان روش پیوسته، اما در کمتر از ۲۴ ساعت است. روش تزریق دوره‌ای در دوره‌های زمانی خاصی از روز انجام می‌گیرد (Brazil et al., 1997). از آنجایی که میزان آمونیاک (Easter et al., 1992) و مواد آلی محلول (Herbst et al., 1994) در ۳ الی ۴ ساعت بعد از غذا دهی به اوج می‌رسند، لازم است که تزریق سریالی ازن متناسب با دوره‌های غذا دهی باشد. روش تزریق سریالی نوسان کیفی کمتری نسبت به روش توده‌ای ایجاد می‌کند، اما بهترین ثبات کیفیت آب در روش پیوسته رخ می‌دهد که با تزریق پیوسته ازن گران قیمت و خطرات پیوسته ورود بقایای ازن به بخش پرورشی و تماس مداوم با ماهی همراه است (Brazil et al., 1997). تزریق سریالی، از طرف دیگر، هزینه‌های اجرایی کمتری داشته و اثرات تخریبی ناچیزی بر موجود پرورشی خواهد داشت. اگرچه لازم است که غلظت بهینه ازن و دوره‌های زمانی تزریق در سیستم‌های پرورشی با زمان ماند هیدرولیکی بالا مشخص گردد. لذا در این پژوهش، ازن در سه سطح پتانسیل اکسیداسیون-احیا (ORP) با روش تزریق سریالی در دو نرخ تعویض آب برای پرورش بچه ماهی قزل آلی رنگین کمان استفاده گردید. کیفیت آب پرورشی و همچنین عملکرد رشد ماهیان در این مطالعه اندازه‌گیری شد. نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان الگوی پرورش صنعتی این ماهی به کار گرفته شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. تهیه ماهی و سازگاری با شرایط آزمایشگاهی

تعداد ۶۰۰ قطعه بچه ماهی رقم بندی شده از ماهی

جدول ۱ - خلاصه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش.

شاخص	مواد محلول کل	آمونیاک کل	نیترات	نیتريت	سفر کل	ORP	pH	سختی تام
مقدار	۲۰۳ ± ۵	-/۱۱ ± ۰/۰۳	۲/۸ ± ۰/۸	۳۷/۵ ± ۲/۷	-/۹۴ ± ۰/۰۵	۱۳ ± ۱۳	۸/۲	۱۵۰
واحد	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	mV		ppm

hi9811-5 شرکت هانا ساخت کشور رومانی و ORP با استفاده از سنسور ۸۶۵۱ شرکت AZ ساخت کشور تایوان اندازه‌گیری شد. آنالیز نمونه‌های آب در ابتدا، در وسط و آخر دوره آزمایش انجام شد. همچنین، غلظت‌های فسفات، آمونیاک، نیتريت در نمونه‌ها به ترتیب با استفاده از روش‌های سوگوارا، هیپوکلرایت و برن شنايدر (Eaton et al., 2005) به روش رنگ‌سنجی (با استفاده از دستگاه‌های اسپکتروفوتومتر HITACHI U-2000 ژاپنی و اسپکتروفوتومتر CECEIL مدل ۱۰۲۰ CE انگلیسی) تعیین گردید.

در وسط و آخر دوره همراه با بیومتری، فاکتورهای تکمیلی کیفی آب نیز اندازه‌گیری شد. در طی دوره آزمایش از آب هوا دهی شده چاه برای تعویض آب و جبران تبخیر استفاده شد (جدول ۱).

۴.۲. سنجش فاکتورهای رشد و بقا

بررسی عملکرد رشد در انتهای دوره پرورشی انجام گرفت. برای بررسی تاثیر تیمارها بر شاخص‌های رشد، نرخ رشد ویژه (Specific growth rate)، ضریب تبدیل غذایی (Feed conversion ratio) (Hevroy et al., 2005) و فاکتور وضعیت (Condition factor) (Ai et al., 2006) بررسی شدند. نرخ رشد ویژه = $[\ln(\text{وزن نهایی ماهی}) - \ln(\text{وزن اولیه ماهی})] / (\text{دوره آزمایش}) \times ۱۰۰$ فاکتور وضعیت = $(\text{طول کل ماهی بر حسب cm})^۳ / \text{وزن ماهی بر حسب g}) \times ۱۰۰$ ضریب تبدیل غذایی = $\text{غذای خورده شده (گرم)} / \text{وزن به دست آمده ماهی (گرم)}$

۵.۲. تجزیه و تحلیل آماری

بررسی نرمال بودن داده با آزمون Shapiro-Wilk انجام شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از آنالیز واریانس دو طرفه (Two-Way ANOVA) و برای وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها از آزمون دانکن در نرم افزار SPSS استفاده شد. سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد و اثرات مستقل و

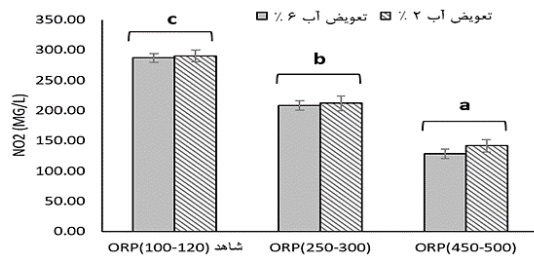
سرای کرج از نژاد دانمارکی خریداری شده و به آزمایشگاه منتقل شد. ماهی‌ها در مخازن ۱۰۰۰ لیتری توزیع شدند. دوره سازگاری دو هفته بود که در این مدت میزان غذادهی روزانه طبق جدول کولنز و همکاران (۱۹۹۹) با غذای FFT-2 شرکت فرادانه (قطر ۳ میلی‌متر) در سه نوبت در روز صورت گرفت. در طی دوره سازگاری، دمای آب، EC، TDS، pH، اکسیژن محلول و ORP روزانه یک مرتبه در ساعت ۱۲ ظهر اندازه‌گیری شد. مقادیر متوسط این پارامترها به ترتیب ۱۲-۱۴°C، ۴۴۰ μS/cm، ۲۲۰ mg/L، pH= ۸/۱، ۸ mg/L و ۱۲۰-۱۰۰ mV بود. در پایان دوره سازگاری، ماهیان قطع غذا شده و زیست‌سنجی بچه ماهیان با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم و طول ماهی با خط کش با دقت ۰/۱ سانتی‌متر انجام شد.

۲.۲. انجام تیمارها

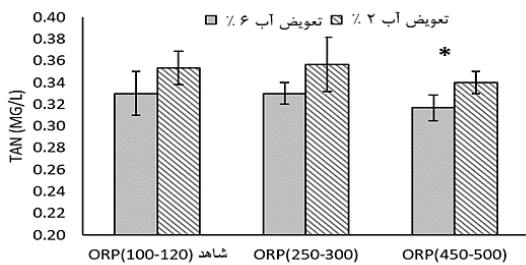
این آزمایش در قالب طرح فاکتوریل و براساس تزریق سریالی سه سطح مختلف ازن (۱۲۰-۱۰۰، ۳۰۰-۲۵۰، ۴۵۰-۵۰۰ mV و تیمار بدون ازن) سه مرتبه در روز در ۳ ساعت بعد از هر غذادهی به مدت یک ساعت با دو سطح مختلف نرخ تعویض آب (۲ و ۶ درصد حجم کل) به صورت فوق متراکم در ۳ تکرار طراحی شد. در هر واحد آزمایشی، تعداد ۲۰ قطعه بچه ماهی ۱۷/۲ ± ۲/۵ گرمی به طور تصادفی در مخازن ۱۰۰ لیتری توزیع شده و برای مدت ۴۰ روز پرورش داده شدند. متوسط تراکم نگهداری ماهی از شروع تا پایان از ۳/۸۲ تا ۹/۱۱ kg/m³ و نرخ بقا به طور متوسط ۹۸٪ بود. برای سیستم با تعویض آب ۲ و ۶ درصد میانگین زمان ماند هیدرولیکی به ترتیب ۵۰ و ۱۶/۷ روز بود. در طی دوره پرورش فاکتورهای اصلی کیفیت آب هر روز اندازه‌گیری شد.

۳.۲. سنجش فاکتورهای کیفی آب پرورشی

دمای آب، EC، TDS، pH، با استفاده از سنسور



شکل ۳- اثر نرخ تعویض آب و سطوح مختلف ازن (ORP) بر غلظت نیتريت (حرف لاتین غیر مشترک نشان از اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ بین سطوح مختلف ORP است).

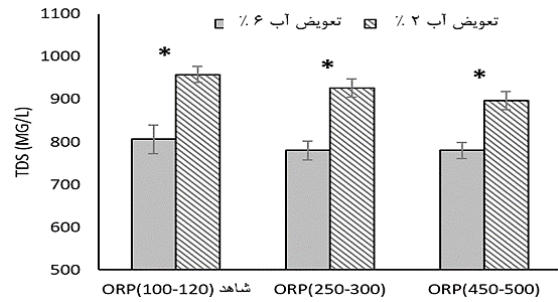


شکل ۴- اثر نرخ تعویض آب و سطوح مختلف ازن (ORP) بر غلظت آمونیاک کل (* بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ بین نرخ تعویض آب در هر سطح ORP می باشد).

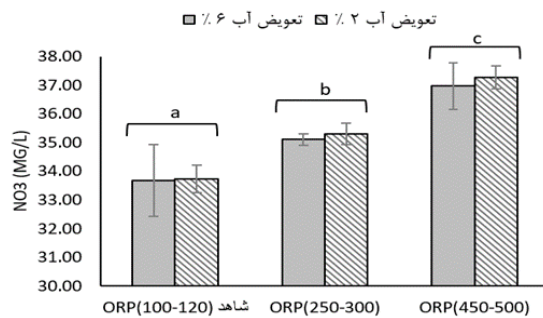
مختلف ازن و تعویض آب، نشان داد که سطوح مختلف ازن در سطح ۱ درصد بر غلظت نیتريت تاثیر گذاشته است ($P < 0.01$) و توانسته در حدود ۵۳ درصد غلظت آن را کاهش دهد، اما نرخ تعویض آب و نیز تقابل غلظت ازن با نرخ تعویض آب بر آن اثر معنی دار نداشته است (شکل ۳). گرچه در بالاترین مقدار ازن با افزایش نرخ تعویض آب، کاهش ۴ درصدی در غلظت نیتريت مشاهده می شود که معنی دار نبود ($P > 0.05$).

با بررسی نتایج غلظت آمونیاک کل، مشخص شد که سطوح مختلف ازن بر غلظت آمونیاک کل تاثیر معنی دار نداشته است، اما تعویض آب در کاهش سطح آمونیاک تاثیر معنی دار در سطح ۵ درصد گذاشته است ($P < 0.05$). همچنین اثر متقابل این دو عامل بر غلظت آمونیاک کل از لحاظ آماری معنی دار نبود (شکل ۴). نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف تعویض آب بر غلظت فسفر کل در سطح ۵ درصد معنی دار بود ($P < 0.05$). اما اثر تزریق ازن و اثر متقابل آن با تعویض آب معنی دار نبود (شکل ۵).

شکل ۶ بیانگر تغییرات ضریب تبدیل غذایی است. نتایج حاکی از تاثیر معنی دار غلظت ازن بر ضریب تبدیل غذایی بود ($P < 0.01$)؛ اما نرخ تعویض آب تاثیر



شکل ۱- اثر نرخ تعویض آب و سطوح مختلف ازن (ORP) بر مواد محلول کل (* بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ بین نرخ تعویض آب در هر سطح ORP می باشد).



شکل ۲- اثر نرخ تعویض آب و سطوح مختلف ازن (ORP) بر غلظت نیترات (حرف لاتین غیر مشترک نشان از اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ بین سطوح مختلف ORP است).

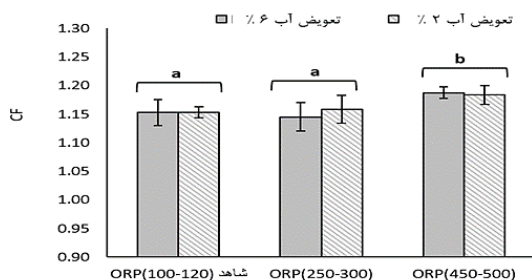
متقابل غلظت ازن و نرخ تعویض آب به طور جداگانه بررسی شد.

۳. نتایج

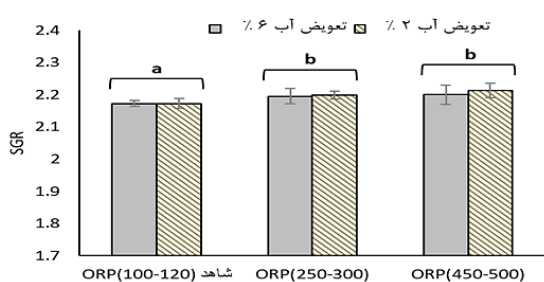
اثرات مستقل و متقابل غلظت های ازن و نرخ تعویض آب بر فاکتورهای کیفیت آب نیز بررسی شد. غلظت ازن بر مواد محلول کل اثر معنی دار نداشت ($P > 0.05$)، اما تاثیر نرخ تعویض آب بر مواد محلول کل معنی دار می باشد ($P < 0.01$) و توانسته در حدود ۵ درصد آن را کاهش دهد. اثرات متقابل از لحاظ آماری معنی دار نبود ($P > 0.05$) (شکل ۱).

نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف ازن بر روی غلظت نیترات در سطح ۱ درصد ($P < 0.01$) معنی دار بود و ازن توانسته بود به طور متوسط موجب افزایش غلظت نیترات در حدود ۱۰ درصد گردد؛ اما تعویض آب و اثر متقابل آن ها معنی دار نبود. گرچه با افزایش نرخ تعویض آب، هر چند اندک از مقادیر نیترات کاسته شد (شکل ۲).

بررسی نتایج غلظت نیتريت متاثر از سطوح



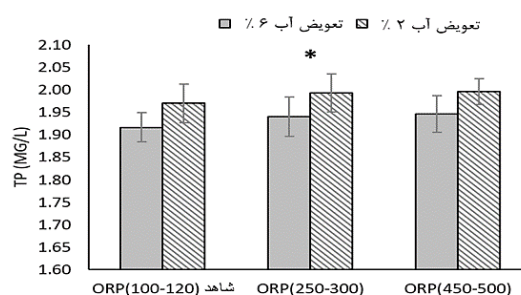
شکل ۷- اثر نرخ تعویض آب و سطوح مختلف ازن (ORP) بر شاخص وضعیت (حرف لاتین غیر مشترک نشان از اختلاف معنی‌دار در سطح 0.05 بین سطوح مختلف ORP است).



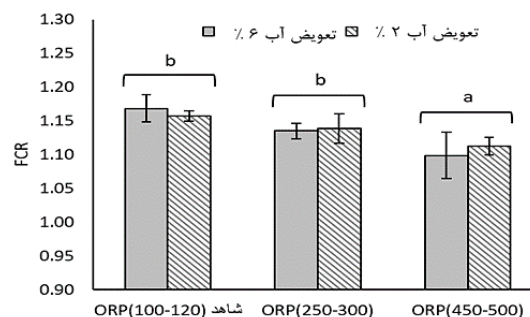
شکل ۸- اثر نرخ تعویض آب و سطوح مختلف ازن (ORP) بر نرخ رشد ویژه (حرف لاتین غیر مشترک نشان از اختلاف معنی‌دار در سطح 0.05 بین سطوح مختلف ORP است).

یافت، اما این تأثیر معنی‌دار نبود، در حالی که در پژوهشی با ازن زنی به روش پیوسته در سیستم برگشت آب پرورش ماهی قزل‌آلا، TDS به مقدار 33 درصد کاهش یافته بود (Samerfelt *et al.*, 1997) و این تفاوت ناشی از روش تزریق پیوسته به کار رفته بود و عملکرد تزریق سریالی ازن در این خصوص را نشان می‌دهد. در پژوهشی دیگر نیز با تزریق توده‌ای ازن، TDS بعد از ازن زنی همچنان بدون تغییر بود (Hosseinzadeh *et al.*, 2017).

در تحلیل نتایج نیترات مشاهده می‌شود که با افزایش ازن، غلظت نیترات بالا رفته است، این مساله در پژوهش دیگری نیز مشاهده شد و ازن نتوانست مانع تجمع نیتروژن نیتراتی شود (Davidson *et al.*, 2009). این مساله ناشی از توانایی ازن در تبدیل نیتريت به نیترات می‌باشد (Hunter, 2000; Summerfelt, 2003; Tango and Gagnon, 2003; Buchan *et al.*, 2005; Coman *et al.*, 2005; Ritar *et al.*, 2006; Sharrer and Summerfelt, 2007; Gongalves and Gagnon, 2011). افزایش شدید غلظت نیترات متأثر از ازن زنی،



شکل ۵- اثر نرخ تعویض آب و سطوح مختلف ازن (ORP) بر غلظت فسفر کل (* بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح 0.05 بین نرخ تعویض آب در هر سطح ORP می‌باشد).



شکل ۶- اثر نرخ تعویض آب و سطوح مختلف ازن (ORP) بر ضریب تبدیل غذایی (حرف لاتین غیر مشترک نشان از اختلاف معنی‌دار در سطح 0.05 بین سطوح مختلف ORP است).

معنی‌داری بر این فاکتور نداشت، اگرچه ضریب تبدیل در نرخ تعویض 6 درصد کمتر از نرخ 2 درصد بود. همچنین، برهم‌کنش غلظت ازن و نرخ تعویض آب نیز بر ضریب تبدیل غذایی معنی‌دار نبود (شکل ۶). نتایج نشان داد که ازن بر شاخص وضعیت تأثیری معنی‌دار دارد ($P < 0.05$)؛ اما نرخ تعویض آب و همچنین برهم‌کنش غلظت ازن و نرخ تعویض آب بر این فاکتور اثر معنی‌دار نداشت (شکل ۷). مورد نرخ رشد ویژه نیز ازن تأثیر معنی‌دار داشت ($P < 0.05$)؛ اما تعویض آب و برهم‌کنش آن با ازن نیز معنی‌دار نبود (شکل ۸).

۴. بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به بررسی نقش تزریق ازن سریالی و تعویض اندک آب بر کیفیت آب و فاکتورهای رشد بچه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان پرداخت. با بررسی نتایج TDS مشخص شد که در این پژوهش در بالاترین سطح ازن، TDS به میزان $17/6$ درصد کاهش

می‌شود (Riter *et al.*, 2006; Sharer, 2007). ازن به راحتی می‌تواند موجب تبدیل آمونیاک به نیترات گردد (Summerfelt, 2003; Tango and Gagnon, 2003; Buchan *et al.*, 2005; Coman *et al.*, 2005; Ritar *et al.*, 2006; Gongalves and Gagnon, 2011). لازم به ذکر است که سرعت اکسید شدن آمونیاک در pH کمتر از ۹/۳ بسیار پایین بوده (Khuntia *et al.*, 2013) و زمان بیشتری برای واکنش ازن با آمونیاک، در پایین‌تر از این pH نیاز است. به نظر می‌رسد که کوتاه بودن دوره‌های ازن زنی در روش تزریق سریالی، عامل عدم کاهش معنی‌دار غلظت آمونیاک در این پژوهش بوده است. البته در هیچ کدام از تیمارها مقدار آمونیاک سمی (غیریونیزه) به حد استاندارد بچه ماهی قزل آلا 0.25 mg/l نرسید (RSPCA, 2018).

بررسی نتایج فاسفر کل مشخص کرد که در این پژوهش ازن نتوانسته به‌طور معنی‌دار بر آن تاثیر بگذارد و فقط افزایش نرخ تعویض آب به‌طور معنی‌دار موجب کاهش آن شده است.

در کل ازن با کاهش نیتريت و افزایش نیترات به‌طور معنی‌دار بر کیفیت آب تاثیر مثبتی داشته است، گرچه کاهش TDS و آمونیاک نیز به‌ترتیب در حدود $17/6$ و $3/8$ درصد رخ داده بود و در مجموع سطح بالاتر ازن موجب بهبود کیفیت آب به‌خصوص در مورد نیتريت شده بود. در مقایسه بین کیفیت آب در دو نرخ تعویض، مشخص شد که با افزایش نرخ تعویض آب TDS و آمونیاک کل به‌طور معنی‌دار، به ترتیب $14/2$ و $5/4$ درصد کاهش رخ داده است، در حالی که مقدار این دو عامل در همه تیمارها زیر حد بحرانی بود. بنابراین از لحاظ کیفیت آب پرورشی نرخ تعویض آب ۶ درصد فقط در این دو مورد بهتر از نرخ تعویض آب ۲ درصد بود و در کل با عملکرد مثبت ازن، کیفیت آب در هر دو نرخ تعویض آب تقریباً در یک دسته کیفی قرار می‌گیرند.

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش سطح ORP (غلظت ازن) ضریب تبدیل غذایی در حدود ۶ درصد کاهش داشته و بهبود پیدا کرده است. این مسئله در پژوهش‌های دیگر در مورد ماهی قزل آلا رنگین کمان (Davidson *et al.*, 2011) و ماهی سی باس اروپایی (Xian *et al.*, 2015) نیز رخ داده است.

در این پژوهش به‌خاطر واکنش اکسیداسونی نیتريت می‌باشد. البته غلظت نیترات در هیچ کدام از تیمارها به بالاتر از حد استاندارد 50 mg/l نرسید (RSPCA, 2018).

بررسی نتایج نیتريت نشان داد که ازن به‌طور بسیار موثری موجب کاهش غلظت آن در حدود 53 درصد نسبت به گروه بدون ازن شد که نتایج مشابه در پژوهش‌های دیگر نیز به‌دست آمده است. در پژوهشی بر ماهی قزل آلا مشاهده شد که ازن زنی در سیستم گردش آب موجب کاهش موثر نیتريت می‌شود (Bullock *et al.*, 1997)، همچنین در پژوهشی دیگر بر روی همین ماهی مشخص شد که ازن زنی موجب کاهش نیتريت به مقدار تقریباً 82 درصد می‌گردد (Samerfelt *et al.*, 1997) و در پژوهشی بر ماهی توربوت (*P. maxima*) در طی دوره ۹۰ روزه، ازن زنی موجب کاهش معنی‌دار نیتريت در آب پرورشی نسبت به گروه کنترل شده است (Powella *et al.*, 2015). در کل، ازن با کاهش نیتريت موجب بهبود کیفیت آب پرورش ماهی می‌شود (Ritar *et al.*, 2006; Sharrer, 2007). علت این مساله در توان اکسایشی شدید ازن است، چرا که ازن به راحتی می‌تواند موجب تبدیل نیتريت به نیترات گردد (Summerfelt *et al.*, 2009)؛ این واکنش غیر وابسته به pH بوده (Liu *et al.*, 2001) و در محیط‌های آبی مختلف، بسته به گونه‌های آبی پرورشی عملکرد مناسب از خود نشان می‌دهد. دوز 300 mV در 250 در وهله اول مقدار نیتريت را به حدود مقدار استاندارد؛ 0.2 mg/l رسانده (RSPCA, 2018) و دوز $450-500 \text{ mV}$ بخوبی توانسته مقدار آن را به زیر حد استاندارد رسانده و موجب بهبود کیفیت آب گردد. نتایج آمونیاک کل حاکی از این است که ازن نتوانسته در هیچ‌کدام از شرایط بر آمونیاک کل تاثیر معنی‌دار داشته باشد، این مساله در تحقیق‌ها مختلف نتایج ضد و نقیضی را در پی داشته است. نتایج مخالف به این ترتیب هست که در پژوهشی در سیستم پرورش ماهی قزل آلا رنگین کمان با نرخ ازن، متوسط و بالا با تزریق پیوسته مشاهده شد که نیتروژن آمونیاکی در سیستم ازن زنی شده پایین‌تر بود اما آن هم همیشه معنی‌دار نبود (Davidson *et al.*, 2011). ازن با کاهش آمونیاک موجب بهبود کیفیت آب پرورش ماهی

برخی محقق‌ها دلایل وقوع این مساله را به توانایی مقابله بیشتر ماهیان با باکتری‌های محیطی و بروز عوامل هماتولوژیک متعادل‌تر نسبت به ماهیان سیستم بدون ازن مرتبط دانستند (Xian *et al.*, 2015) و برخی دیگر ایجاد شرایط محیطی مطلوب‌تر را مطرح کردند؛ چرا که با تزریق ازن در سیستم، شرایط محیطی بهتری برای رشد ماهی قزل آلابی رنگین کمان در سیستم‌های RAS ایجاد شده و به این ترتیب ازن منجر به کاهش ضریب تبدیل غذایی شده است (Davidson *et al.*, 2011). در پژوهش حاضر نیز بهبود ضریب تبدیل را می‌توان ناشی از بهبود شاخص‌های کیفیت آب پرورشی دانست. بالاترین میزان FCR در تیمار بدون ازن مشاهده شد، که این مسئله را می‌توان با بالاترین مقدار نیتريت در این تیمارها مرتبط دانست؛ چرا که غلظت بالاتر از 0.2 mg/l موجب جذب نیتريت در خون ماهی شده و در پی آن با کاهش جذب اکسیژن در خون، بر شاخص‌های رشد FCR و SGR تأثیر منفی می‌گذارد (Bregnballe, 2015).

نتایج نشان داد که اثرات متقابل غلظت ازن و نرخ تعویض آب موجب بهبود شاخص وضعیت شد که در پژوهشی بر ماهی قزل آلابی در نهایت مشخص شد که ازن منجر به بهبود فاکتور وضعیت می‌شود (Davidson *et al.*, 2011). در این پژوهش نیز به دلیل بر هم کنش نرخ بالاتر تعویض آب با ازن، شاخص وضعیت بهتری نسبت به دیگر تیمارها در سطح مشابه بدست آمد. لازم به ذکر است که در پژوهشی بر ماهی دو رگ سی‌باس راه‌راه (*Morone saxatilis* x)

رشد ماهی در سیستم حاوی ازن بیشتر بود (Brazil *et al.*, 1997). در پژوهشی دیگر بر ماهی آزاد اطلس، مشخص شد که استفاده از ازن در سیستم RAS موجب افزایش رشد این ماهی شده است (Sutterlin *et al.*, 1984). بالا بودن فاکتور وضعیت با ازن زنی می‌تواند نشان دهنده عدم استرس فیزیولوژیک با منشا ازن سریالی باشد چرا که فاکتور وضعیت یا سایر علائم کلینیکی می‌تواند دلیلی بر وقوع استرس فیزیولوژیک باشد (Kebus *et al.*, 1992). در خصوص نرخ رشد ویژه نیز نتایج این پژوهش با نتایج دیگر مشابه می‌باشد. علت این مساله در بهبود کیفیت محیط پرورشی به واسطه ازن زنی می‌باشد (Brazil *et al.*, 1997)، چرا که افزایش غلظت نیتريت در آب پرورشی بچه ماهیان انگشت قد ماهی قزل آلابی رنگین کمان، کاهش SGR و افزایش FCR را در پی دارد (Bregnballe, 2015).

References

- Ai, Q., Mai, K., Tan, B., Xu, W., Duan, Q., Ma, H., Zhang, L. 2006. Replacment of fish meal by meat and bone meal in diets for large Yellow croaker (*Pseudosciaea nacrocea*). *Aquaculture* 260, 255-263.
- Badiola, M., Mendiola, D., Bostock, J., 2012. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering* 51, 26-35.
- Brazil, B.L., 1997. Impact of ozonation on system performance and growth characteristics of hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) and tilapia hybrids (*Sarotherodon* sp.) reared in recirculating aquaculture systems. Ph.D. Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
- Bregnballe, J., 2015. A Guide to Recirculation Aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems, the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organisation.
- Buchan, K.A.H., Martin, D.J., Robichaud, D., Benfey, T.J., 2005. Measurement of dissolved ozone in sea water: a comparison of methods. *Aquacultural Engineering* 33(3), 225-231.
- Bullock, G.L., Summerfelt, S.T., Noble, A.C., Weber, A.L., Durant, M.D., Hankins, J.A., 1997. Ozonation of a recirculating rainbow trout culture system I. Effects on bacterial gill disease and heterotrophic bacteria. *Aquaculture* 158(1-2), 43-55.

- Chen, C.Y., Woostera, G.A., Getchella, R.G., Bowsera, P.R., Timmons, M.B., 2003. Blood chemistry of healthy, nephrocalcinosis-affected and ozone-treated tilapia in a recirculation system, with application of discriminant analysis. *Aquaculture* 218, 89-102.
- Coman, G.J., Sellars, M.J., Morehea, D.T., 2005. Toxicity of ozone generated from different combinations of ozone concentration (C) and exposure time (T): A comparison of the relative effect of c and t on hatch rates of *Penaeus (Marsupenaeus) japonicus* Embryos. *Aquaculture* 244, 141-145.
- Davidson, J., Good, C., Welsh, C., Brazil, B., Summerfelt, S., 2009. Heavy metal and waste metabolite accumulation and their potential effect on rainbow trout performance in a replicated water reuse system operated at low or high flushing rates. *Aquacultural Engineering* 41, 136-145.
- Davidson, J., Good, C., Welsh, C., Summerfelt, S., 2011. The effects of ozone and water exchange rates on water quality and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* performance in replicated water reuse systems. *Aquacultural Engineering* 44, 80-96.
- Easter, C., 1992. Water chemistry characterization and component performance of a recirculating aquaculture system producing hybrid striped bass. Master's thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Franson, M.A.H., 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association* 1015, 49-51.
- FAO., 2015. Food Outlook, Global Marketed Analysis. <http://www.fao.org/3/a-14581E.pdf>
- Fukunaga, K., Suzuki, T., Arita, M., Suzuki, S., Hara, A., Yamauchi, K., Shinriki, N., Ishizaki, K., Takama, K., 1992. Acute toxicity of ozone against morphology of gill and erythrocytes of Japanese charr (*Salvelinus leucomaenis*). *Comparative Biochemistry and Physiology - Part C: Toxicology* 101, 331-336.
- Gongalves, A.A., Gagnon, A.G., 2011. Ozone application in recirculating aquaculture system: an overview. *Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association* 33, 345-367.
- Herbst, J.L., 1994. The effects of ozone treatment on chemical parameters of a recirculating aquaculture system producing hybrid striped bass. Master's thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Hevroy, E.M., Espe, M., Waagbo, R., Sandness, K., Round, M., Hemer, G.L., 2005. Nutrition utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed increased level of fish protein hydrolysate during a period of fast growth. *Aquaculture Nutrition* 11, 301-313.
- Hosseinzadeh, S., et al. 2017. Water reuse in closed hydroponic systems: Comparison of GAC adsorption, ion exchange and ozonation processes to treat recycled nutrient solution. *Aquacultural Engineering* 78, 190-195.
- Hunter, J., 2000. Sterilization by use of ozone: correct airflow requirements. In: Escobal, P.R. (ed.), *Aquatic Systems Engineering: Devices and How They Function*. 2nd Ed., Oxnard, CA (USA): Dimension Engineering Press. p. 157-166.
- Kebus, M.J., Collins, M.T., Brownfield, M.S., Amundson, C.H., Kayes, T.B., Malison J.A., 1992. Effects of rearing density on the stress response and growth of rainbow trout. *Journal of Aquatic Animal Health* 4, 1-6.
- Khuntia, S., Majumder, S. K., Ghosh, P., 2012. Removal of ammonia from water by ozone microbubbles. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 52(1), 318-326.
- Liu, Q., Lynn M., Schurter, C.E. Muller, S. Aloisio, J., Francisco, S., Dale, W., 2001. Margerum, kinetics and mechanisms of aqueous ozone reactions with bromide, sulfite, hydrogen sulfite, iodide, and nitrite ions. Department of Chemistry, Purdue University, West Lafayette, Indiana 47907-1393.
- Martins, C.I.M., Pistrin, M.G., Ende, S.S.W., Eding, E. H., Verreth, J.A.J., 2009. The accumulation of substances in recirculating aquaculture systems (RAS) affects embryonic and larval development in common carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 291, 65-73.
- Powella, A., Chingombea, P., Lupatscha, I., Shieldsa, R.J., Lloyd, R., 2015. The effect of ozone on water quality and survival of turbot (*Psetta maxima*) maintained in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering* 64, 20-24.
- Rafatnezhad, S., Falahatkar, B., Tolouei Gilani, M.H., 2008. Effects of stocking density on haematological parameters, growth and fin erosion of great sturgeon (*Huso huso*) juveniles. *Aquaculture Research* 39, 1506-1513.
- Reiser, S., Wuertz, S., Schroeder, J.P., Kloas, W., Hanel, R., 2011. Risks of seawater ozonation in recirculation aquaculture – Effects of oxidative stress on animal welfare of juvenile turbot (*Psetta maxima*, L.). *Aquatic Toxicology* 105, 508-517.
- Ritar, A.J., Smith, G.G., Thomas, C.W., 2006. Ozonation of seawater improves the survival of larval southern rock lobster, *Jasus edwardsii*, in culture from egg to juvenile. *Aquaculture* 261, 1014-1025.
- Ritola, O., Lyytikäinen, T., Pylkko, P., Molsa, H., Lindström-Seppä, P., 2000. Glutathione-Dependent Defense system and Monooxygenase Enzyme Activities in Arctic Charr *Salvelinus alpinus* (L.) Exposed to Ozone. *Aquaculture* 185, 219-233.
- RSPCA. 2018. Welfare standards for farmed rainbow trout. Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals, UK.
- Sharrer, M.J., Summerfelt, S.T., 2007. Ozonation followed by ultraviolet irradiation provides

- effective bacteria inactivation in a freshwater recirculating system. *Aquacultural Engineering* 37, 180-191.
- Summerfelt, S.T., Sharrer, M.J., Tsukuda, S.M., Gearheart, M., 2009. Process requirements for achieving full-flow disinfection of recirculating water using ozonation and UV irradiation. *Aquacultural Engineering* 40(1), 17-27.
- Summerfelt, S.T., 2003. Ozonation and UV irradiation—an introduction and examples of current applications *Aquacultural Engineering* 28, 21-36.
- Summerfelt, S.T., Hankins, J.A., Weber, A.L., Durant, M.D., 1997. Ozonation of a recirculating rainbow trout culture system. ii. Effects on microscreen filtration and water quality. *Aquaculture* 158, 57-67.
- Sutterlin, A.M., Courier, C.Y., Devereaux, T., 1984. A recirculation system using ozone for the culture of Atlantic salmon. *Progressive Fish-Culturist* 46, 239-244.
- Tango, M.S., Gagnon, G.A., 2003. Impact of ozonation on water quality in marine recirculation systems. *Aquacultural Engineering* 29, 125-137.
- Wedemeyer, G.A., Nelson, N.C., Yasutake, W.T., 1979. Physiological and biochemical aspects of ozone toxicity to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of Fisheries Research Bd. Canada* 36, 605-614.
- Xian, L., Cyrille, P., Sebastien, T., Ying, L., Jean-Paul, B., 2015. Long-term effects of moderate elevation of oxidation-reduction potential on European seabass (*Dicentrarchus labrax*) in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 64, 15-19.