خصوصیات پساب تولیدی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و بررسی روند معدنی شدن آن

محمد هرسیج[۱]*، غلامرضا رفیعی[۲]، علیرضا میرواقفی[۲] و هادی اسدی دادقانسرایی[۲]

[۱] گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس

[۲] گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت:۱۳۹۰/۳/۳۰ - تاریخ تصویب:۱۳۹۰/۱۰/۲۰)

چکیده

در قالب یک طرح کاملا تصادفی، خصوصیات پساب تولیدی توسط ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و نیز میزان تراوش مواد و معدنی شدن فضولات تولیدی درگروه‌های وزنی ۳ ± ۲۰ و ۵ ± ۵۰ و ۹±۱۰۰ و ۱۰ ± ۲۰۰ گرم، مورد بررسی قرار گرفت. ماهیان در مخازنی با حجم آبگیری ۲۰۰ لیتر، برای مدت سه روز نگهداری و با غذای شرکت فرادانه تغذیه شدند. سپس، برای اندازه‌گیری نرخ معدنی شدن و تأثیر میکروارگانیسم‌ها، ماهیان جمع‌آوری شده و مخازن حاوی فضولات به مدت یک هفته با ادامه عمل هوادهی نگهداری شدند. طی این مدت عناصر ریزمغذی و درشت‌مغذی و برخی خصوصیات فیزیکو شیمایی آب سنجیده شد. میزان ترکیبات نیتروژن‌دار (آمونیاک کل، نیتریت و نیترات) بین روزهای شروع آزمایش و زمان جمع‌آوری ماهیان تفاوت معنی‌داری نشان داد ($p<۰/۰۵$). غلظت فسفر محلول کل نیز در بین تمامی تیمارها، پس از سه روز اول، افزایش داشت ($p<۰/۰۵$). میزان هدایت الکتریکی و سختی کل نیز در تمامی تیمارها از روز سوم به بعد تفاوت معنی‌دار داشت ($p<۰/۰۵$). نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان داد که در سه روز اول، باکتری‌های موجود در سیستم عملکرد بهتری را در معدنی کردن متابولیت‌های تولیدی در مقایسه با زمان پس از صید ماهی و عدم حضور ماهی خواهندداشت.

واژه‌های کلیدی: قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، خصوصیات پساب، تراوش مواد مغذی، معدنی شدن

* نویسنده مسئول تلفن: ۰۱۷۲-۲۲۳۷۵۰۸ فاکس: ۰۱۷۲-۲۲۲۱۷۶۹ E-mail: m_harsij80@yahoo.com

مقدمه

ترکیبات موجود در فضولات تولیدی ناشی از آبزی‌پروری به عوامل متعددی ازجمله اندازه ماهی، مدیریت غذادهی، کیفیت غذا، ضریب تبدیل غذایی، کارآیی جذبِ نوترینت‌ها، مدیریت کیفی آب، هیدرولیک آب استخرها و روش غذادهی وابسته است (Rafiee *et al*., 2005; Summerfelt *et al*., 1995; Cripps and Bergheim, 2000). اندازه ذرات و مقدار فضولات تولیدی نیز تا حد زیادی به همین عوامل بستگی دارند چراکه نهایتاً مربوط به میزان غذای مصرفی می‌باشد (Stewart *et al*., 2006). باقیماندن فضولات در آب باعث رشد و تجمع میکروارگانیسم‌ها شده که متعاقب آن افزایش مصرف اکسیژن را به دنبال دارد. در دماهای بالاتر فضولات تولیدی بیشتر بوده و میزان انحلال آنها نیز بیشتر می‌باشد (Schulz *et al*., 2003; Cripps and Bergheim, 2000; Bergheim and Sgard, 1996). با دانستن میزان و منشاء تولید این مواد می‌توان در ابتدا به کاهش تولید و یا حذف آنها پس از تولید اقدام نمود (Rafiee and Saad, 2005; Bergheim and Sgard, 1996). هرچند بهترین روش برای کاهش میزان فضولات تولیدی کاهش در منبع تولید مطرح شده است (Cripps and Bergheim, 2000). با گذشت زمان مواد دفعی باقیمانده در آب، متلاشی شده و به تدریج حل می‌گردد. در این حالت، مواد معدنی و آلی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد و در نهایت می‌تواند اثرات نامطلوب بر رشد ماهیان گذارد. سرعت و میزان تراوش مواد در آب به عواملی از قبیل: تلاطم و جریان آب، اندازه ذرات مدفوع، وجود اکسیژن و عوامل میکروبی و ... بستگی دارد (Endut, 2010). برای حل این مشکل و جلوگیری از افزایش مواد معدنی(مغذی) مانند نیترات و فسفات، استفاده از بخش پرورش گیاه در محیط آبی (کشت هیدروپونیک) در اینگونه سیستم‌ها پیشنهاد شده است (Rafiee and Kamarudin, 2006).

پساب آبزی پروری در صورتی که بدون تصفیه به محیط زیست طبیعی وارد شود، می‌تواند عواقب خطرناکی داشته باشد (Schulz *et al*., 2003; Camargo, 1992). بکارگیری فیلترهای مکانیکی و بیولوژیکی از مهمترین روش‌های کاهش میزان آلاینده‌های محیطی کارگاه‌های پرورش ماهی مطرح است. این مسئله در سالهای اخیر اهمیت زیادی پیدا کرده چرا که منابع آبی با کیفیت، محدود شده است. همچنین بکارگیری روش‌های پرورش متراکم آبزیان، باعث شده که پساب‌های پرورشی با غلظت زیاد آلاینده‌ها تولید شوند. در برخی موارد، کیفیت نسبتاً پایین غذاهای مصرفی و عدم مدیریت صحیح تغذیه‌ای، این مشکل را دوچندان نموده است. عدم وجود یا اجرای قوانین زیست‌محیطی- مربوط به تخلیه پساب مزارع پرورش ماهی به اکوسیستم‌های طبیعی- باعث شده که پرورش‌دهندگان توجهی به کیفیت و کمیت فضولات تولیدی مزرعه‌شان نداشته باشند. پساب خروجی از کارگاه‌ها و مزارع پرورش انواع حیوانات حاوی مواد مغذی می‌باشد که می‌تواند برای رشد گیاهان بسیار مناسب باشد (Rafiee *et al*., 2005). دانستن ترکیب فضولات تولیدی ماهی، میزان تجزیه آن و پتانسیل تراوش مواد مغذی، جهت کمینه کردن میزان یوتریفیکاسیون آب‌های پایین دست مزارع لازم است (Stewart *et al*., 2006).

نظر به اینکه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان از ماهیان مهم پرورشی کشور می‌باشد، لازم است تحقیقات ویژه‌ای مبنی بر تعیین میزان پساب تولیدی در مراحل مختلف رشد آن در ارتباط با نوع غذای مصرفی صورت پذیرد و کیفیت پساب تولیدی و تغییرات آن در ارتباط با فلور طبیعی موجود در آب مصرفی مورد ارزیابی قرار گیرد. هدف اصلی مدیریت کنترل کیفی آب مزارع، با تکیه بر دانش خصوصیات کیفی پساب تولیدی بوده است. لذا در این تحقیق سعی شد با توجه به مصرف غذای تولیدی در ایران (تولید شرکت فرادانه)، روند تولید پساب و کیفیت آنها در وزن‌های مختلف ماهی قزل‌آلای رنگین کمان مورد بررسی قرارگیرد.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین خصوصیات پساب تولیدی وزن‌های مختلف ماهیان و تغییرات آن با گذشت زمان، آزمایشی

طراحی و اجرا گردید. این تحقیق در سالن تکثیرو پرورش آبزیان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام گرفت.

تیمارهای آزمایش

جهت اجرای آزمایش از مخازن ۳۰۰ لیتری از جنس فایبرگلاس (حجم آبگیری به میزان ۲۰۰ لیتر) استفاده شد. ماهیان قزل‌آلا از کارگاهی واقع در منطقه جاده هراز به مخازن بزرگ ۲۰۰۰ لیتری کارگاه منتقل شد. جهت سازگاری ماهیان با شرایط موجود و نیز جایگزینی کامل محتویات روده و معده با غذای مورد استفاده در آزمایش، به مدت دوهفته، در مخازنی بطور جداگانه نگهداری شدند. سپس ماهیان گروه‌های وزنی ۳±۲۰ و ۵ ±۵۰ و ۹±۱۰۰ و ۱۰±۲۰۰ گرمی، هریک در سه تکرار به مخازن ۳۰۰ لیتری معرفی شدند. به دلیل عدم تعویض آب در طول دوره آزمایش، بیومس ماهیان در مخازن کم درنظرگرفته شد. به همین دلیل تعداد ۱۵-۱۳ قطعه ماهی (در سه تکرار) به هر مخزن منتقل شد.

هوادهی تمامی مخازن توسط یک پمپ مرکزی، ۲۴ساعته انجام شد. در طول دوره آزمایش دما در محدوده ۱۸°C-۱۵ درجه سانتی‌گراد نگهداشته‌شد.

غذای مصرفی و ترکیبات تشکیل‌دهنده آن

غذای مورد استفاده از شرکت فرادانه تهیه شد. این غذا دارای ۴۸٪ پروتئین خام، ۱۲٪ چربی خام، ۱۴٪ خاکستر، ۱/۵٪ فیبر و حداقل ۱/۵٪ فسفر بود.

غذادهی سه وعده در شبانه‌روز، به میزان کافی (اما وزن شده) انجام شد. غذادهی با دقت انجام شد تا اینکه تمامی غذا مورد استفاده قرارگیرد و با مدفوع‌تولیدی ادغام نشود.

جدول (۱) تعداد ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان هر مخزن و میزان غذای مصرفی آنها

تیمار	تعداد ماهی در هر مخزن	بیومس تقریبی کل -گرم	متوسط غذای مصرفی کل-گرم	درصدغذای مصرفی روزانه
۳ ± ۲۰ گرم	۱۵	۳۰۰	۲۴	۲/۷
۵ ± ۵۰ گرم	۱۵	۷۵۰	۵۴	۲/۴
۹ ±۱۰۰ گرم	۱۵	۱۵۰۰	۱۲۱	۲/۷
۱۰ ± ۲۰۰ گرم	۱۳	۲۶۰۰	۱۹۸	۲/۵

اندازه‌گیری پیراسنجه‌های کیفی پساب

ماهیان به مدت سه شبانه روز در مخازن نگهداری و تغذیه شدند و در پایان این سه روز ماهیان جمع آوری و به مخازن بزرگ (۲۰۰۰ لیتری) منتقل شدند. بطور روزانه، نمونه‌برداری از آب حاوی فضولات، در زمان حضور و پس از جمع آوری ماهیان انجام شد (تا هفت روز پس از صید) تا اینکه میزان انحلال و تراوش مواد از فضولات تولیدی در آب مشخص شود.

در طول دوره آزمایش دمای آب دو نوبت در روز و فاکتورهای پی‌اچ، اکسیژن، هدایت الکتریکی (EC)، بطور روزانه اندازه‌گیری‌شد (APHA, 1980). همچنین برخی عناصر اصلی تولیدی مانند ترکیبات نیتروژنه، فسفر محلول کل، سدیم، کلسیم، منیزیوم، پتاسیم، آهن، منگنز، سولفات و نیز فاکتور سختی کل اندازه‌گیری شد. آنالیز نمونه‌های آب، یکبار در ابتدا، دیگری همزمان با جمع‌آوری ماهیان و از آن پس بطور روزانه تا پایان دوره صورت گرفت. نمونه‌ها جهت آنالیز و سهولت کار، تا پایان مدت آزمایش در فریزر و دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

هدایت‌الکتریکی، pH و اکسیژن محلول، با دستگاه دیجیتالی Cyberscan مدل pc300 (شرکت Cyberscan ،سنگاپور) اندازه‌گیری شد. کلسیم و منیزیوم با روش تیتراسیون (روش کمپلکسومتری) و سدیم و پتاسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر شرکت Carl zeiss آلمان مدل PF5/58778 و فسفرکل نیز با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Cintra-40 (شرکت GBC،استرالیا) سنجیده شد. سایر موارد ذکر شده نیز توسط دستگاه Palintest 8000 (شرکت Palintest، انگلستان) اندازه‌گیری شد.

محاسبه نرخ تولید نوترینت (Rx)

برای مقایسه میزان یک نوترینت تولیدی در واحد زمان و متناسب با میزان غذای خورده‌شده، از شاخصی به نام نرخ نوترینت تولیدی در واحد میزان غذای مصرفی در طول زمان مشخص (در این آزمایش سه روز) استفاده شد (Qian *et al*., 2001).

$$Rx = \frac{\text{حجم آب مخزن} \times \text{(غلظت نوترینت اولیه- غلظت نوترینت نهایی)}}{\text{(وزن تر غذای مصرفی} \times \text{زمان)}}$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای رسم نمودارها و تجزیه و تحلیل داده‌ها، به ترتیب نرم‌افزارهای Excel2007 و SPSS (version, 11) به کار گرفته شد. پس از اینکه از نرمال بودن داده‌ها و یکسانی واریانس‌ها اطمینان حاصل شد، برای مقایسه میانگین داده‌ها از تجزیه واریانس یک طرفه، استفاده شد. برای تعیین سطح معنی‌دار بودن میانگین متغیرها در بین تیمارها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج

متابولیت‌های تولیدی ماهیان و برخی فاکتورهای دیگر شامل ترکیبات نیتروژن‌دار، فسفر، سولفات، سختی کل، هدایت الکتریکی و تغییرات آن با گذشت زمان اندازه‌گیری شد.

ترکیبات نیتروژن دار

با شروع آزمایش و حضور ماهیان در مخازن، میزان غلظت آمونیاک کل در آب بالا رفت. این روند با برداشت ماهیان از مخازن یعنی از روز سوم تا روز دهم نیز ادامه داشت (جدول ۲).

میزان آمونیاک، نیتریت و نیترات تولیدی از زمان شروع آزمایش تا روز صید آنها در تمامی وزن‌ها، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$) (جدول‌های ۲، ۳ و ۴). اما در خصوص آمونیاک و نیتریت، بین وزن‌های اول و دوم، این پدیده کمی متفاوت بود و تفاوت معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد. نیتریت بین وزن‌های دوم، سوم و چهارم، هنگام صید ماهیان نیز تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول۳). در ادامه، مقدار نیتریت دچار نوسانات نامنظمی در طی زمان شد که این تغییرات با گذشت زمان در بعضی موارد بیشتر به چشم می‌خورد (جدول۳).

فسفرکل

میزان ترشح فسفر کل (در طول زمان آزمایش) بین وزن‌های مختلف (به غیر از وزن اول و چهارم) با یکدیگر متفاوت بود ($p<۰/۰۵$). در طی سه روز اول، تفاوت معنی‌داری در وزن‌های دوم وسوم، بین زمان شروع و روز صید (روز سوم) مشاهده نشد (جدول۸). در وزن اول در

جدول (۲) تغییرات غلظت آمونیاک میلی‌گرم در لیتر (sd ± میانگین) در طول دوره آزمایش بین وزن‌های مختلف

آمونیاک	شروع	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم	روز نهم	روز دهم	P-value
۲۰ گرم	۰/۰۰۲±۰/۰۰۰۱ a(x)	۱/۰۲±۰/۰۷۱ b(x)	۱/۵±۰/۱۶ bc(x)	۱/۳±۰/۱۴۴ bc(x)	۱/۷۲±۰/۱۸۱ c(x)	۲/۳۴±۰/۱۴۱ d(x)	۲/۲۵±۰/۱۱۳ d(x)	۲/۲۳±۰/۲۴۶ d(x)	۰/۰۰۰۱
۵۰ گرم	۰/۰۰۲±۰/۰۰۰۱ a(x)	۱/۰۷±۰/۱۹۲ b(x)	۱/۲۲±۰/۱۱۴ b(x)	۱/۳۸±۰/۲۸۱ b(x)	۱/۵±۰/۱۴۹ b(x)	۲/۵۲±۰/۲۵۸ c(yx)	۲/۸۳±۰/۲۱۶ cd(yx)	۳/۰۷±۰/۳۱ d(y)	۰/۰۰۰۱
۱۰۰ گرم	۰/۰۰۲±۰/۰۰۰۱ a(x)	۲/۰۷±۰/۲۹۱ b(y)	۲/۰۹±۰/۱۳۸ b(y)	۲/۶۸±۰/۲۴۵ c (y)	۲/۹۷±۰/۲۱۸ dc(y)	۳/۱۸±۰/۳۲۶ dc(y)	۳/۴۸±۰/۴۶۱ d(y)	۳/۴۴±۰/۳۳۵ d(y)	۰/۰۰۰۱
۲۰۰ گرم	۰/۰۰۲±۰/۰۰۰۱ a(x)	۳/۱±۰/۲۹۲ b(z)	۲/۶۸±۰/۲۳ b(z)	۳/۸۲±۰/۳۱۴ cb(z)	۴/۳۳±۰/۲۳۹ dc(z)	۴/۹۷±۰/۴۱۷ e(z)	۵/۱۸±۰/۴۲۴ e(z)	۴/۷±۰/۳۵۷ ed(z)	۰/۰۰۰۱
P-value	۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	

در جدول فوق، حروف a، b، c، d و e نشانگر تفاوت‌های معنی‌دار بین روزهای مختلف آزمایش و حروف x، y، z و t نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

جدول (٣) تغییرات غلظت نیتریت میلی‌گرم در لیتر (sd± میانگین) در طول دوره آزمایش بین وزن‌های مختلف

نیتریت	شروع	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم	روز نهم	روز دهم	P-value
٢٠گرم	٠/٠٠٢±٠/٠٠٠١ a(x)	٠/١۴±٠/٠٢ bc(x)	٠/١۶±٠/٠٢١ bc (x)	٠/٢٣±٠/٠۴ c(x)	٠/٢١٣±٠/٠١٣ c(x)	٠/١٧±٠/٠١ bc(x)	٠/١۶±٠/٠۴۶ bc(x)	٠/٠١±٠/٠٠١ ab(x)	٠/٠٠۵
۵٠گرم	٠/٠٠٢±٠/٠٠٠١ a(x)	٠/٢۵٧±٠/٠٢٨ bc(yx)	٠/۴٩±٠/٠۵٧ c(y)	٠/۴٢±٠/٠٣۴ c(y)	٠/٢٨٣±٠/٠٢ c(x)	٠/٢٨±٠/٠٣۵ cb(x)	٠/٣۶±٠/٠٢۶ d(y)	٠/١٢±٠/٠٣١ ab(x)	٠/٠۴
١٠٠گرم	٠/٠٠٢±٠/٠٠٠١ a(x)	٠/۴٠٣±٠/٠٢۶ bc (y)	٠/۵٧±٠/٠٣٨ c(y)	٠/۴٢±٠/٠٣۶ cb (y)	٠/۴١±٠/٠١١ cb(x)	٠/۴٢±٠/٠٢٨ cb(zy)	٠/۴١±٠/٠٩ cb(y)	٠/٢۶±٠/٠٧۵ b(y)	٠/٠٠٠١
٢٠٠گرم	٠/٠٠٢±٠/٠٠٠١ a(x)	٠/۴±٠/٠١ cb(y)	٠/۶±٠/٠۶٢ d(y)	٠/۴٧±٠/٠۶ cb(y)	٠/٣۶±٠/٠١٢ b(x)	٠/۵١±٠/٠٢۶ cb (z)	٠/۵٨±٠/٠٨١ cd(z)	٠/۵٧±٠/٠۴٨ dc(z)	٠/٠٠٠١
P-ueval	١	٠/٠۴۵	٠/٠٢٨	٠/٠٣٠	٠/٢٨۶	٠/٠٠٧	٠/٠٠١	٠/٠٠٠١	

در جدول فوق، حروف a، b، c، d و e نشانگر تفاوت‌های معنی‌دار بین روزهای مختلف آزمایش و حروف x، y، z و t نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

جدول (۴) تغییرات غلظت نیترات میلی‌گرم در لیتر (sd± میانگین) در طول دوره آزمایش بین وزن‌های مختلف

نیترات	شروع	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم	روز نهم	روز دهم	P-value
٢٠گرم	٣/٣۴±٠/٠٢ a(x)	١٣/۵۴±٢/۴٩ b(x)	١۴/٩٢±٢/٧٣ bc(x)	١۴/۶۶±٢/٣٣ bc(x)	١۶/٨١±٢/٠٣ bcd(x)	١٧/۵٧±٢/٩٩ cd(x)	١۶/٣۶±٢/٧٣ bc(x)	٢٠/٢٩±٢/٨٢ d(x)	٠/٠٠٠١
۵٠گرم	٣/٣۴±٠/٠٢ a(x)	٢۵/٨٨±٣/۴۶ b(y)	٣٣/۵١±۴/٢۴ bc(y)	۴١/٩۵±۶/۴١ cd(y)	۴٧/٢٧±۵/٠٨ d(y)	۵٠/٠٧±٧/٨ d(y)	۵٠/٨٧±٩/٨٨ d(y)	۶٧/۴۵±٨/١٨ e(y)	٠/٠٠٠١
١٠٠گرم	٣/٣۴±٠/٠٢ a(x)	۴٢/١٧±۵/٧٧ b(z)	۵٣/٣٨±۵/۵٧ cd(z)	۶٣/٣±۶/١١ cd (z)	٧٣/۶٨±٨/٩۴ d(z)	٩١/٨١±٩/٨ e(z)	٩۶/٩١±٨/٧٩ e(z)	١٠١/٨٨±٩/۵٣ e(z)	٠/٠٠٠١
٢٠٠گرم	٣/٣۴±٠/٠٢ a(x)	٩٨/۵۶±٩/٠٩ b(t)	١١١/٩۵±١٠/٨٢ bc(t)	١٢۵/١۶±١٠/٩١ cd(t)	١٢٣/٨١±١١/١١ cd(t)	١٢۴/٩٢±٩/٢۶ cd(t)	١٣٨/٧٧±١٠/٢٨ de(t)	١۵٣/۵٣±١٢/٠٢ e(t)	٠/٠٠٠١
P-value	١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	

در جدول فوق، حروف a، b، c، d و e نشانگر تفاوت‌های معنی‌دار بین روزهای مختلف آزمایش و حروف x، y، z و t نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

فسفر کل موجود در آب، کاهش قابل توجهی مشاهده شد. در وزن چهارم، تولید فسفر نیز زیاد بود که نسبت به فسفر اولیه، تفاوت معنی‌داری (p<٠/٠۵) داشت. در ادامه، با گذشت زمان این مقدار دچار نوسان شد (جدول٨).

هدایت الکتریکی

افزایش میزان هدایت الکتریکی طی سه روز اول کاملاً مشهود بود (به غیراز وزن اول) ولی پس از جمع‌آوری ماهیان، افزایش آن با شدت کمتر ادامه یافت. اما مقدار آن بین وزن‌های مختلف، به استثنای وزن اول، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان نداد. از جدول ۵ پیداست در ماهیان وزن اول، تفاوت معنی‌داری طی گذشت زمان (از ابتدا تا انتها) مشاهده نمی‌شود. اما در وزن‌های بالاتر، با گذشت زمان تفاوت بیشتری بین تیمارها دیده شد. به بیان دیگر میزان هدایت الکتریکی آب بین زمان‌های مختلف، در وزن‌های بالاتر، به گروه‌های متمایزتری تقسیم می‌شود.

سختی کل

با شروع تغذیه ماهیان مقدار سختی کل رو به افزایش نهاد. همچنین از زمان قطع غذادهی و جمع‌آوری ماهیان، روند افزایشی متوقف شد و دچار نوسانات جزئی گردید. بین مقادیر سختی‌کل برای وزن‌های مختلف ماهیان، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (p<٠/٠۵). مقدار سختی کل برای تمامی اوزان، از شروع تا روز سوم تفاوت معنی‌داری درسطح ۵ درصد داشت اما باگذشت زمان به تدریج تغییرات جزیی نموده و روند افزایشی پیداکرد.

سایر عناصر و خصوصیات

عناصر و ترکیباتی که در جدول‌ها نتایج به آنها اشاره شده، دارای تغییراتی در طی حضور ماهیان و پس از جمع‌آوری ماهیان بوده است. اکسیژن محلول، با هوادهی مداوم، از حد اشباع در ابتدای آزمایش و نیز مخزن حاوی ماهیان کوچک تا کمترین مقدار (٣/٢ میلی‌گرم در لیتر) در نوسان بود. پی‌اچ نیز تغییرات جزیی (از ۶/٨ تا ٧/۶)

داشت. میزان سدیم محلول درآب بین گروه‌های مختلف وزنی تفاوت معنی‌داری داشته (p<۰/۰۵) و با گذشت زمان مقدار آن تغییرات ناچیزی پیدا نمود (جدول ۱۱). این پدیده در مورد پتاسیم، سولفات و منیزیوم نیز صادق است (جدول‌های ۶، ۱۰ و ۱۲).

منگنز نیز در این تیمارها سنجیده شده است. منگنز موجود در آب عمدتاً صفر یا نزدیک به صفر بوده که در جدول‌ها نیامده است.

شاخص رهاسازی نوترینت (Rx)

میزان این شاخص برای ترکیبات مهم دفعی ماهیان از جمله آمونیاک، نیتریت، نیترات و فسفر کل محاسبه شد (جدول ۱۳). با افزایش وزن ماهیان، میزان آمونیاک تولیدی (نسبت به غذای مصرفی) کاهش داشت اما از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در مورد نیتریت تفاوت معنی‌داری بین برخی گروه‌های وزنی دیده شد و میزان آن با افزایش وزن کاهش یافت. شاخص نیترات نیز دارای نوساناتی بود اما این تفاوت‌ها بین وزن‌های مختلف معنی دار نبود. در وزن‌های اول و دوم، میزان شاخص فسفر کل، منفی بود یعنی در پایان سه روز اول، مقدار فسفر کل محلول در آب کاهش داشته است. اما برای وزن‌های بعدی این مقادیر افزایش داشت (جدول ۱۳). اما به هر حال این تفاوت‌ها معنی‌دار بود (p<۰/۰۵). در جدول‌های ذیل، حروف a، b، c، d و e نشانگر تفاوت‌های معنی‌دار بین روزهای مختلف آزمایش و حروف x، y، z و t نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

جدول (۵) تغییرات هدایت الکتریکی (sd± میانگین) در طول دوره آزمایش بین وزن‌های مختلف

هدایت الکتریکی	شروع	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم	روز نهم	روز دهم	P-lueva
۲۰گرم	۰/۳۹±۰/۰۲ a(x)	۰/۴۷۳±۰/۰۵۱ a(x)	۰/۳۷۳±۰/۰۲۲ a(x)	۰/۴۶۳±۰/۰۷۴ a(x)	۰/۴۵۳±۰/۰۶۸ a(x)	۰/۴۵۳±۰/۰۴۷ a(x)	۰/۵۲۷±۰/۰۳۶ a(x)	۰/۴۸۳±۰/۰۶۳ a(x)	۰/۸۳
۵۰گرم	۰/۳۹±۰/۰۲ a(x)	۰/۸۴۷±۰/۰۹۶ b(y)	۰/۸۹۳±۰/۰۹۶ bc(y)	۰/۹۵۷±۰/۰۱۲ bc(y)	۰/۹۰۳±۰/۰۵۵ bc(y)	۱/۰۴۷±۰/۱۳۲ c(xy)	۰/۹۸۷±۰/۰۱ bc(y)	۰/۹۶۳±۰/۰۹۵ bc(y)	۰/۰۰۰۱
۱۰۰گرم	۰/۳۹±۰/۰۲ a(x)	۰/۹۰۷±۰/۰۸۷ b(y)	۱/۱۳۳±۰/۲۸ bcd(y)	۱/۱۲۷±۰/۱۱۲ bcd(y)	۱/۰۸۵±۰/۰۸۵ bc(y)	۱/۱۷۳±۰/۰۵۱ bcd(xy)	۱/۲۰۷±۰/۰۶۴ cd(z)	۱/۳۷۳±۰/۱۱ d(z)	۰/۰۰۰۱
۲۰۰گرم	۰/۳۹±۰/۰۲ a(x)	۱/۰۳۳±۰/۱۱ b(y)	۱/۲۲۳±۰/۱۲۵ bc(y)	۱/۴۲۳±۰/۲۳۴ cd(z)	۱/۶۸۳±۰/۲۵۵ de(z)	۱/۷۷±۰/۱۵۶ e(y)	۱/۷۶۷±۰/۰۸۸ e(t)	۱/۷۹۷±۰/۴۹۱ e(t)	۰/۰۰۰۱
P-aluev	۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	

در جدول فوق، حروف a، b، c، d و e نشانگر تفاوت‌های معنی‌دار بین روزهای مختلف آزمایش و حروف x، y، z و t نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

جدول (۶) تغییرات غلظت سولفات میلی‌گرم در لیتر (sd± میانگین) در طول دوره آزمایش بین وزن‌های مختلف

سولفات	شروع	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم	روز نهم	روز دهم	P-value
۲۰گرم	۷۸±۳/۶ ab (x)	۷۵/۳۳±۶/۰۳ ab (x)	۶۶/۶۷±۴/۰۸ a(x)	۷۰/۶۷±۵/۰۶ ab(x)	۷۸/۶۷±۷/۵۱ ab(x)	۷۸/۳۳±۴/۵۲ ab(x)	۸۰/۶۷±۵/۰۳ b(x)	۸۲/۳۳±۶/۶۵ b(x)	۰/۰۰۰۱
۵۰گرم	۷۸±۳/۶ a (x)	۹۶/۶۷±۷/۰۹ bc(y)	۱۰۳/۳۳±۶/۸۳ cb(y)	۱۰۸/۳۳±۸/۰۸ c(y)	۹۵/۶۷±۶/۵۱ bc(y)	۹۷/۰±۵/۵۶ cb(y)	۹۷/۶۷±۵/۲۴ bc(y)	۹۹/۶۷±۵/۶۸ bc(xy)	۰/۰۰۰۱
۱۰۰گرم	۷۸±۳/۶ a (x)	۱۱۱/۳۳±۶/۰۸ b(z)	۱۱۲/۶۷±۴/۲۶ b(yz)	۱۱۲/۳۳±۴/۵۷ b(y)	۱۱۰/۶۷±۹/۶۱ b(z)	۱۱۳/۳۳±۹/۷۸ b(z)	۱۰۸/۳۳±۷/۵۱ b(y)	۱۱۰/۳۳±۹/۷۸ e(y)	۰/۰۰۰۱
۲۰۰گرم	۷۸±۳/۶ a (x)	۱۲۹/۳۳±۵/۸۵ cb(t)	۱۲۰/۳۳±۷/۶۱ b(z)	۱۳۱/۳۳±۹/۱۶ bc(z)	۱۲۲/۳۳±۴/۹۱ bc(z)	۱۳۳/۶۷±۹/۷ bc(t)	۱۲۹/۳۳±۹/۲۹ bc(z)	۱۳۵/۰±۶/۵۶ c(z)	۰/۰۰۰۱
P-value	۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	

در جدول فوق، حروف a، b، c، d و e نشانگر تفاوت‌های معنی‌دار بین روزهای مختلف آزمایش و حروف x، y، z و t نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

جدول (٧) تغییرات غلظت فسفر میلی‌گرم در لیتر محلول کل (sd ± میانگین) در طول دوره آزمایش بین وزن‌های مختلف

فسفرکل	شروع	روزسوم	روزچهارم	روزپنجم	روزششم	روزهفتم	روزنهم	روزدهم	P-value
٢٠گرم	١/٦٩±٠/١٣۴ c(x)	١/١٣±٠/١٨۴ ab(x)	١/٣±٠/١٢٨ bc(x)	٠/٨۶±٠/٠٧١ a(x)	١/٠٧±٠/١٥ ab(x)	١/١٥±٠/١٨ ab(x)	١/٠٨±٠/٠٩٨ ab(x)	١/٥٥±٠/٢۴ bc(x)	٠/٠۴۴
۵٠گرم	١/٦٩±٠/١٣۴ ab(x)	١/٣±٠/١٣٩ a(x)	٢/٠٩±٠/٢۴۶ b(x)	١/٩٧±٠/٢۶ ab(x)	٢/٨٧±٠/٢٩۶ c(y)	۴/١٣±٠/٣١ d(y)	۴/١۶±٠/۴۶١ d(y)	۵/١٨±٠/۶٣٧ e(y)	٠/٠٠٠١
١٠٠گرم	١/٦٩±٠/١٣۴ a(x)	٢/٢٧±٠/٢۵٣ a(y)	٢/۶٣±٠/١٧٢ a(x)	۴/۵٨±٠/٣٧٨ b(y)	۴/٩۴±٠/۴٨١ bc(z)	۶/٢٣±٠/۵٨۶ bc(z)	۵/٧٨±٠/٣٧۶ cb(y)	۶/٩±٠/۴٠٨ c(z)	٠/٠٠٠١
٢٠٠گرم	١/٦٩±٠/١٣۴ a(x)	٣/۴۵±٠/٢۵ b(z)	۵/٧٧±٠/٣١ c(y)	۶/٨±٠/۵٩١ cd(z)	۶/٨٩±٠/٣۴٩ cd(t)	٧/۶٢٩±٠/۶١٢ de(z)	٧/٩۵±٠/۴٧٢ ed(z)	٩/٠۴±٠/٨١ e(t)	٠/٠٠٠١
P-value	١	٠/٠٠١	٠/٠٠٢	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	

در جدول فوق، حروف a، b، c، d و e نشانگر تفاوت‌های معنی‌دار بین روزهای مختلف آزمایش و حروف x، y، z و t نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

جدول (٨) تغییرات سختی کل میلی‌گرم در لیتر (sd± میانگین) در طول دوره آزمایش بین وزن‌های مختلف

سختی کل	شروع	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم	روز نهم	روز دهم	P-value
٢٠گرم	١۵٣±۶/٢۴ a(x)	١۴٧/٣±١٢/٩۶ a(x)	١۴٧/٣±٨/۵ a(x)	١۴٨/٧±١١/۵٢ a(x)	١۶٠/٧±١١/٧۶ a(x)	١۵۵±١٢/٧۶ a(x)	١۵١/٣±۶/٠٣ a(x)	١۵٢/٧±۵/۵ a(x)	٠/٩٢٣
۵٠گرم	١۵٣±۶/٢۴ a(x)	١٧٩/٣±١١/۵ b(y)	١٧۵±١٢/۵۶ b(y)	١۶٣/٧±١٠/٧۴ ab(x)	١٨٠/٣±١١/٠٢ b(yx)	١٨۵/٣±۶/٠٢ b(y)	١۶٧/٧±١۶/٠٧ ab(x)	١۶۵/٣±١٢/٢٩ ab(x)	٠/٠۴۴
١٠٠گرم	١۵٣±۶/٢۴ a(x)	٢١۶/٣±١٣/۵١ c(z)	٢١٣/٣±١۴/١۶ bc(z)	١٩۵/٧±٩/۵٣ b(y)	٢٠۵/٧±١۶/١١ bc(y)	٢١١/٧±١٨/۶٢ bc(z)	٢٠٧/٧±١۴/٢٧ bc(y)	٢٣۶/٣±١۶/٠٩ d(y)	٠/٠٠٠١
٢٠٠گرم	١۵٣±۶/٢۴ a(x)	٢۶٨/٣±١١/۵٩ b(t)	٢٧۵±١٧/٩٣ bc(t)	٢٨۵±٢٢/٢٨ bc(z)	٢٨٣/٧±١٧/٠٠ bc(z)	٢٧٧/٣±١٩/٨٨ bc(t)	٢٩٧/٧±٢١/۵ c(y)	٢٨٧/٧±١٣/٣١ bc(z)	٠/٠٠٠١
P-value	١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠١	

در جدول فوق، حروف a، b، c، d و e نشانگر تفاوت‌های معنی‌دار بین روزهای مختلف آزمایش و حروف x، y، z و t نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

جدول (٩) تغییرات غلظت کلسیم میلی‌گرم در لیتر (sd± میانگین) در طول دوره آزمایش بین وزن‌های مختلف

کلسیم	شروع	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم	روز نهم	روز دهم	P-value
٢٠گرم	۴٠±٣/۶١ bc(x)	٣٩/٣٣±٣/١۵ bc(x)	٣٧/٣٣±٣/۶١ ab(x)	۴٢/۶٧±۴/١۵ c(x)	٣۵/٣٣±٣/٠۵ ab(x)	٣۶/٣٣±٢/٠۵ ab(x)	٣۶/٠±٣/٨ ab(x)	٣٢/۶٧±٣/٠۶ a(x)	٠/٠٠۵
۵٠گرم	۴٠±٣/۶١ a(x)	۴۴/٣٣±٣/٢٧ a(x)	۴۵/۶٧±٣/۵١ a(xy)	۴٧/٣٣±٢/٨٣ a(x)	۴٧/٠±٢/۴۶ a(y)	۴۶/٣٣±٣/٣٢ a(xy)	۴١/۶٧±٣/٢٧ a(x)	۴٩/٠±١/٠ a(y)	٠/٠٧٨
١٠٠گرم	۴٠±٣/۶١ a(x)	۴٧/۶٧±٣/٠١ b(x)	۴٧/٠±٢/١۶ b(xy)	۴٨/٠±٢/٢١ b(x)	۴٧/٣٣±۴/۴١ b(y)	۴۶/۶٧±٢/٩٣ b(xy)	۴٨/۶٧±٣/٠٢ b(xy)	۵۵/۶٧±۴/٨٧ c(yz)	٠/٠٣٢
٢٠٠گرم	۴٠±٣/۶١ a(x)	۴٨/٣٣±٢/۵۴ ab(x)	۴٩/۶٧±۴/٢١ ab(y)	۵٢/۶٧±٣/٢۶ ab(x)	۵٢/۶٧±٣/٧۵ ab(y)	۵۴/٠±۴/٢١ ab(y)	۵۶/٣٣±۴/٩ ab(y)	۶٠/٣٣±۵/٠٨ b(z)	٠/٠۴٧
P-value	١	٠/۴٣۶	٠/١	٠/۵٢٨	٠/٠٢۵	٠/١٢۵	٠/٠٢۶	٠/٠٠٠١	

در جدول فوق، حروف a، b، c، d و e نشانگر تفاوت‌های معنی‌دار بین روزهای مختلف آزمایش و حروف x، y، z و t نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

جدول (۱۰) تغییرات غلظت منیزیم میلی‌گرم در لیتر (sd± میانگین) در طول دوره آزمایش بین وزن‌های مختلف

منیزیم	شروع	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم	روز نهم	روز دهم	P-value
۲۰گرم	۱۹/۲±۰/۸۳ bc(x)	۱۸/۸۳±۰/۵۶ b(x)	۱۶/۴۳±۰/۳۲ a(x)	۱۸/۲۷±۰/۳ ab(x)	۲۱/۰±۱/۵۸ cd(x)	۲۰/۰±۱/۸۳ bc(x)	۲۱/۲۳±۱/۰۲ cd(x)	۲۲/۷۷±۱/۴۶ d(x)	۰/۰۰۰۱
۵۰گرم	۱۹/۲±۰/۸۳ a(x)	۲۵/۴۷±۲/۶ a(xy)	۲۵/۸۷±۲/۳ a(x)	۲۰/۸±۱/۹۸ a(x)	۲۴/۱۳±۲/۱۱ a(x)	۲۱/۱۳±۲/۱۷ a(x)	۲۲/۶۷±۱/۸۹ a(x)	۲۴/۹±۲/۰۴ a(yx)	۰/۶۴۸
۱۰۰گرم	۱۹/۲±۰/۸۳ a(x)	۲۸/۴۷±۱/۷۸ ab(y)	۳۰/۸±۲/۹۴ ab(x)	۲۶/۶±۲/۱۲ ab(x)	۳۰/۱۳±۱/۳۲ ab(xy)	۲۸/۵۳±۱/۸۹ ab(x)	۲۸/۵۷±۱/۰۷ ab(x)	۳۱/۳۳±۲/۴۸ b(y)	۰/۰۳۴
۲۰۰گرم	۱۹/۲±۰/۸۳ a(x)	۲۵/۵۳±۱/۱۷ ab(y)	۲۸/۸۳±۱/۶۵ ab(xy)	۳۲/۵±۲/۵۱ ab(x)	۳۷/۷±۳/۴۹ bc(y)	۴۷/۳۷±۳/۹۱ cd(y)	۵۰/۴۷±۵/۰۳ cd(y)	۵۲/۹۷±۳/۰۹ d(z)	۰/۰۰۱
P-value	۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۹	۰/۳۳	۰/۰۴۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	

در جدول فوق، حروف a، b، c، d و e نشانگر تفاوت‌های معنی‌دار بین روزهای مختلف آزمایش و حروف x، y، z و t نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

جدول (۱۱) تغییرات غلظت سدیم میلی‌گرم در لیتر (sd± میانگین) در طول دوره آزمایش بین وزن‌های مختلف

سدیم	شروع	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم	روز نهم	روز دهم	P-value
۲۰ گرم	۲۳/۲±۰/۲۱ ab(x)	۲۲/۹۳±۰/۹ ab(x)	۲۰/۱۷±۰/۶ a(x)	۲۱/۲۷±۲/۰۵ ab(x)	۲۱/۱۳±۱/۹ ab(x)	۲۲/۷۳±۱/۴ ba(x)	۲۳/۳۷±۲/۳۷ b(x)	۲۳/۰۳±۰/۷۴ ab(x)	۰/۰۲۶
۵۰ گرم	۲۳/۲±۰/۲۱ ab(x)	۲۳/۵۳±۱/۳۶ b(x)	۲۲/۸۳±۱/۵۳ ab(x)	۲۰/۴±۱/۴۷ a(x)	۲۲/۷±۲/۲۷ ab(x)	۲۲/۶±۲۱/۲۷ ab(x)	۲۳/۰۳±۰/۴۹ ab(x)	۲۳/۳۷±۰/۵۵ b(x)	۰/۰۲۸
۱۰۰ گرم	۲۳/۲±۰/۲۱ a(x)	۲۷/۸۳±۲/۲۹ a(x)	۲۶/۶±۱/۹۲ a(xy)	۲۵/۱۳±۲/۵۲ a(xy)	۲۶/۵۳±۱/۱۵ a(xy)	۲۶/۴۷±۱/۴۶ a(x)	۲۶/۹۳±۲/۳۸ a(x)	۲۷/۰±۲/۳۶ a(x)	۰/۹۸۳
۲۰۰ گرم	۲۳/۲±۰/۲۱ a(x)	۳۰/۲۳±۲/۱۶ ab(x)	۳۲/۱۷±۳/۱۶ b(y)	۳۲/۱۷±۳/۱۲ b(y)	۳۴/۱۷±۳/۱۵ b(y)	۳۶/۴۳±۲/۵۳ b(y)	۳۴/۵۷±۲/۲۲ b(y)	۳۵/۳۷±۳/۲۶ b(y)	۰/۰۴۷
P-value	۱	۰/۱۷۳	۰/۰۲۶	۰/۰۴۹	۰/۰۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷	

در جدول فوق، حروف a، b، c، d و e نشانگر تفاوت‌های معنی‌دار بین روزهای مختلف آزمایش و حروف x، y، z و t نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

جدول (۱۲) تغییرات پتاسیم (sd± میانگین) در طول دوره آزمایش بین وزن‌های مختلف

پتاسیم	شروع	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم	روز نهم	روز دهم	P-value
۲۰ گرم	۱/۳۳±۰/۵۷ a(x)	۱/۶۷±۰/۵۷ ba(x)	۲/۶۷±۰/۵۷ ba(x)	۳/۳۳±۰/۵۷ b(x)	۳/۶۷±۱/۰ b(x)	۳/۰±۱/۰ ab(x)	۲/۶۷±۰/۱۵ ba(x)	۳/۶۷±۰/۲۱ b(x)	۰/۰۱۲
۵۰ گرم	۱/۳۳±۰/۵۷ a(x)	۲/۶۷±۰/۰ ba(x)	۳/۰±۱/۰ bc(x)	۳/۶۷±۱/۰ bc(x)	۳/۳۳±۱/۱۵ bc(x)	۴/۰±۱/۰ c(x)	۶/۰±۱/۰ d(y)	۴/۳۳±۰/۵۷ c(x)	۰/۰۰۰۱
۱۰۰ گرم	۱/۳۳±۰/۵۷ a(x)	۲/۰±۰/۰ ba(x)	۲/۳۳±۰/۵۷ ba(x	۳/۳۳±۱/۰ bc(x)	۴/۶۷±۱/۱۵ bc(x)	۴/۶۷±۱/۵۲ c(yx)	۶/۰±۱/۰ d(x)	۷/۰±۱/۰ d(y)	۰/۰۰۰۱
۲۰۰ گرم	۱/۳۳±۰/۵۷ a(x)	۳/۳۳±۰/۵۷ b(x)	۳/۶۷±۱/۱۵ b(x)	۴/۰±۱/۰ b(x)	۴/۳۳±۱/۵۲ b(x)	۶/۶۷±۱/۵۲ c(y)	۶/۳۳±۱/۵۲ c(y)	۹/۰±۱/۰ d(y)	۰/۰۰۰۱
P-value	۱	۰/۰۰۵	۰/۳۴۱	۰/۷۲۳	۰/۸۳۳	۰/۰۴۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۳	

در جدول فوق، حروف a، b، c، d و e نشانگر تفاوت‌های معنی‌دار بین روزهای مختلف آزمایش و حروف x، y، z و t نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

جدول (١٣) شاخص Rx (نوترینت رهاسازی شدهٔ روزانه در طی سه روز در واحد وزن غذای خورده شده (sd± میانگین) در ماهیان وزن‌های مختلف

وزن ماهی	آمونیاک	نیتریت	نیترات	فسفر کل
٢٠ گرم	٠/٢٨±٢/٧٦ x	٠/١٣±٠/٤ y	٥/٤٥±٢٨/٣٢ x	٠/٣٨±-١/٥٥ x
٥٠ گرم	٠/١٤±١/٢٩ x	٠/٠٦±٠/٣٢ xy	٣/٧٥±٢٧/٨٢ x	٠/٠٨٦±-٠/٤٨ y
١٠٠گرم	٠/٠٤±١/١٣ x	٠/٠٥±٠/٢٢ xy	٢/٢٥±٢١/٣٩ x	٠/١١±٠/٣٢ z
٢٠٠گرم	٠/٣١±١/٠٣ x	٠/٠٢±٠/١٩ x	١/٧٢±٣٢/٠٦ x	٠/٠٩١±٠/٥٩ z
p-value	٠/١٤٦	٠/٠٣٢	٠/١٣٨	٠/٠٤٨

در جدول فوق، حروف x، y و z نشانگر وجود تفاوت بین وزن‌های مختلف است.

بحث و نتیجه گیری

از نتایج پیداست که به دلیل وجود ماهیان و تغذیه آنها در سه روز اول، عمدتاً با افزایش فاکتورهای اندازه‌گیری شده مواجه هستیم مخصوصاً عناصری که غلظتشان در غذا و در نهایت مواد دفعی ماهیان، قابل توجه است. اما پس از جمع‌آوری ماهیان و گذشت زمان، مقدار آن دچار نوساناتی می‌شود. علت اصلی این تغییرات می تواند به دلیل فعالیت‌های باکتریایی در جذب و دفع مواد باشد. رسوبگذاری و سایر فعل و انفعالات فیزیکی و شیمیایی نیز از دیگر عوامل نوسانات عناصر محلول در آب می باشد (Camargo *et al*., 2011). این پدیده با گذشت زمان نمود بیشتری پیدا کرده که تفسیر نوسانات آن را مشکل‌تر می‌نماید. بطور کلی سه عامل برای نوسانات و تغییرات غیرمنتظره غلظت‌ها در اینگونه آزمایش‌ها بیان شده‌است. این موارد شامل جذب باکتریایی، مرگ‌ومیر باکتریایی و رسوبگذاری شیمیایی می‌باشد (Blancheton *et al*., 2008).

اندازه ذرات فضولات، مدت زمان باقی‌ماندن در آب و دمای محیط، رابطه مستقیم با میزان تراوش مواد از فضولات دارد (Brinker *et al*., 2005; Sindilariu *et al*., 2009; Brinker and Rosch, 2005). همچنین پایداری ذرات مدفوع در آب می‌تواند نقش مهمی در کاهش آلودگی منابع آب داشته باشد (Stewart *et al*., 2006). ماهیان درشت‌تر غذای بیشتری مصرف کرده و فضولات درشت‌تری را تولید می‌نمایند. از طرفی میزان تراوش در ذرات فضولات درشت‌تر کمتر از ذرات ریزتر می‌باشد (Sindilariu *et al*., 2009). لذا این موضوع می‌تواند عاملی برای کاهش نسبی میزان تراوش مواد از فضولات ماهیان سایز بزرگتر باشد (حتی باوجود مصرف غذای بیشتر و تولید ماده دفعی بیشتر). احتمالاً این پدیده علت اصلی معنی‌دار نبودن اختلاف غلظت‌های برخی نوترینت‌ها بین وزن‌های مختلف ماهیان (شاخص Rx) می‌باشد.

در پژوهش‌های مختلف اشاره شده است که تراوش نوترینت‌ها از فضولات تا چندین روز ادامه می‌یابد، هرچند که غلظت مواد تحت تأثیر عملکرد باکتری‌ها یا رسوبگذاری قرار خواهد گرفت (Stewart *et al*., 2006; Stewart Schulz *et al*., 2003; Lam *et al*., 2008). این عوامل باعث شده نتایج مختلفی از غلظت‌های مواد محلول در آب، مخصوصاً با گذشت زمان بدست آید.

به دلیل اهمیت ترکیبات نیتروژن‌دار و فسفاته در بحث یوتریفیکاسیون آب‌های طبیعی، عمده تحقیقات انجام شده، در مورد این دو ترکیب می‌باشد. اما نظر به اینکه پژوهش انجام شده در خصوص فراهم نمودن مقدمات طراحی سیستم آکواپونیک بوده، سایر عناصر و فاکتورهای مهم نیز سنجیده شده است.

تغییرات ترکیبات نیتروژندار

ماهیان ٩٥-٥٢ درصد از نیتروژن غذا را به صورت ضایعات نیتروژن‌دار دفع می‌کنند. از این مقدار، حدود ٩٠-٧٥ درصد به صورت آمونیاک است (Cripps and Bergheim, 2000). این ترکیب با گذشت زمان تحت عمل باکتری‌ها به نیتریت و سپس به نیترات تبدیل

می‌شود. آنچه در این تحقیق بیش از همه مورد نظر بوده، تغییرات آن با گذشت زمان است. اما پدیده دنیتریفیکاسیون و تراوش این مواد از فضولات و احتمالاً غذاهای خورده نشده، باعث ادامه یافتن افزایش غلظت آمونیاک در روزهای پس از جمع‌آوری ماهیان شده است. اشاره شده که انجام عمل دنیتریفیکاسیون در آب‌ها هنگامی شروع می‌شود که میزان اکسیژن محلول به ۰/۲۵ میلی‌گرم درلیتر و پایینتر برسد (Ronner and Sorensson, 1985; Terai *et al*., 1987)، اما این عمل در تالابهای مصنوعی که آب خروجی آنها چهار میلی‌گرم در لیتر است نیز مشاهده شده است (Schulz *et al*., 2003). کاهش سرعت گردش آب در مخازن یا تالاب‌ها (افزایش زمان ماندگاری آب) یا وجود مناطق کم اکسیژن در یک سیستم (لایه‌های زیرین فضولات ته‌نشین شده) این عمل را تشدید خواهد کرد. تراوش ترکیبات نیتروژنی عمدتاً آهسته‌تر از سایر عناصر صورت می‌گیرد. این پدیده مخصوصاً در ۲۴ ساعت اول مشاهده می‌شو (Stewart *et al*., 2006) آنچه که در مورد ترکیبات نیتروژن‌دار مهم است، اکسیداسیون بیولوژیکی است که با گذشت زمان در محیط‌های حاوی اکسیژن اتفاق می‌افتد (Rafiee *et al*., 2005; Schulz *et al*., 2003). این شواهد در تحقیق انجام شده کاملاً مشهود می‌باشد. نظر به اینکه گیاهان عمدتاً نیترات را به عنوان یک ترکیب نیتروژندار مورد استفاده قرار می‌دهند (Schulz *et al*., 2003)، این یک عمل مطلوب در سیستم‌های آکواپونیک (که از گیاه برای تصفیه آب استفاده می‌نمایند) به شمار می‌آید. نیتریت یک ترکیب حد واسط از پدیده نیتریفیکاسیون است و به همین دلیل غلظت آن در آب دچار نوسانات نامنظم می‌شود. تحقیق انجام شده روی ماهیان تیلاپیای قرمز ۲۰، ۴۰ ، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ گرمی، تفاوت معنی‌داری در غلظت نیتریت موجود در آب نشان نداد (Rafiee and Saad, 2005). در مطالعه‌ای دیگر روی فضولات باقیمانده در یک استخر پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان، به علت نوسانات بیش از حد نیتریت و در پی آن افزایش غلظت نیترات طی روزهای اول تا هفتم، این دو عامل، به عنوان عوامل ارزشمند مورد بحث و ارزیابی قرار نگرفتند (Stewart *et al*., 2006). در تحقیق انجام شده نیز نوسانات نامنظم نیتریت کاملاً مشهود است و با توجه به میزان غذای مصرفی بیشتر در وزن‌های بالاتر، احتمالاً جمعیت باکتریایی بزرگتری شکل گرفته و در نتیجه این تغییرات در سطوح بالاتری انجام می‌پذیرد. بدیهی است که میزان نیترات نیز در پی نیتریت افزایش می‌یابد.

تغییرات فسفرکل

پساب‌هایی که از لحاظ فسفر غنی باشد در آلوده‌سازی اکوسیستم‌های آبی نقش مهمی دارد. چرا که فسفر از اصلی‌ترین نوترینت‌های محدودکننده رشد گیاهان آبزی و بطور کلی تولید، در آبهای طبیعی می‌باشد و مهمترین عامل یوتریفیکه شدن آبهای طبیعی به شمار می‌آید (Foy and Rosellb, 1991). به ازاء تولید هر تن ماهی ۲۰-۱۰ کیلوگرم فسفر تولید شده که نهایتاً به محیط‌های طبیعی وارد می‌شود. معمولاً عمده فسفر از فضولات و غذای خورده نشده تراوش می‌نماید (Bergheim *et al*., 1998). غذای مصرفی قزل‌آلا (pellet) حدود ۱/۵-۱ درصد فسفردارد. از این میزان حدود ۳۲٪ در بدن ماهی مانده و ۶۸٪ از بدن دفع می‌شود. از این مقدار ۴۰-۱۰ درصد به صورت محلول و مابقی به صورت ذرات معلق یا رسوب است (Schneider *et al*., 2005). بیشترین میزان تراوش فسفر از فضولات در چند ساعت اول اتفاق می‌افتد (Bergheim and Sgard, 1996). افزایش سریع فسفر محلول پس از ۵ ساعت تا میزان ۲۰ درصد اشاره شده اما از روز دوم تا هفتم به آهستگی صورت گرفته است (Stewart *et al*., 2006). احتمالاً رسوب یا فعالیت‌های باکتریایی با جذب فسفر رها شده به آب، با توجه به تولید فسفر کم (درسه وزن اول) باعث به تعادل در آمدن و کاهش فسفر محلول شده است. این عامل اصلی معنی‌دار نبودن فسفر محلول در سه وزن اول، بین روز اول و سوم است. اما در ادامه باگذشت زمان، میزان تراوش آن از فضولات ته‌نشین شده افزایش یافته است. در محل‌هایی که سرشار از مواد آلی است، باکتری‌ها توانایی زیادی در

انبار کردن پلی‌فسفات دارند (Foy and Rosellb, 1991). روند سریع تراوش فسفر در روزهای ابتدایی و کاهش رشد آن مشابه یافته های محققین دیگر است (Bergheim and Sgard, 1996; Stewart *et al*., 2006; Foy and Rosellb, 1991). این نوسانات عمدتاً به دلیل عمل باکتری‌ها (جذب و دفع فسفر) و رسوبگذاری می‌باشد (Foy and Rosellb, 1991) (جدول ٧).

شاخص رهاسازی نوترینت (Rx)

این شاخص، میزان تغییر غلظت نوترینت را پس از سه روز صرف‌نظر از مقدار غذای خورده شده نشان می‌دهد. بنابراین میتوان مقدار ماده تولیدی را برای چهار وزن ماهیان موجود، محاسبه و با یکدیگر مقایسه نمود. با توجه به اینکه شاخص Rx برای مدت سه روز محاسبه شده است، تراوش نوترینت‌ها از فضولات، جذب و دفع باکتریایی و سایر عوامل فیزیکی و شیمیایی نیز بر آن تأثیر مثبت و منفی گذاشته است. درنتیجه در بسیاری از فاکتورهای اندازه‌گیری بین وزن‌های مختلف تفاوتی مشاهده نمی‌شود. وجود تفاوت معنی‌دار شاخص Rx مربوط به نیتریت، با توجه به مطالب ذکر شده در بخش بحث ترکیبات نیتروژن‌دار، بوده است. وجود تفاوت شاخص Rx مربوط به فسفر کل، به دلیل قدرت رسوب و انحلال این عنصر و فعالیت‌های باکتریایی بوده که طولانی بودن فاصله زمانی اندازه‌گیری شاخص نیز این تفاوت را آشکارتر نموده است (Stewart *et al*., 2006).

تغییرات سایر عناصر و عوامل

عناصر و ترکیباتی که در جدول‌ها نتایج به آنها اشاره شده، دارای تغییراتی در طی حضور ماهیان و پس از جمع‌آوری بوده است. اما به دلیل اینکه به میزان نسبتاً کمی از ماهیان ترشح می‌شود یا اینکه میزان آنها در غذا ناچیز بوده است، تغییرات آن با گذشت زمان از قانون خاصی پیروی نمی‌نماید. هرچند که پدیده‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی نیز در میزان غلظت آنها بی‌تأثیر نمی‌باشد.

افزایش هدایت الکتریکی ناشی از افزایش یون‌های موجود در آب می‌باشد. نظر به اینکه ترکیبات آلی، بخش اصلی ترکیبات تشکیل‌دهنده غذای قزل‌آلاست، در نتیجه معدنی شدن، ترکیبات نیتروژنی و فسفره و هدایت الکتریکی می‌بایست بیشترین افزایش را داشته باشد (Sindilariu *et al*., 2009). بنابراین با افزایش میزان غذادهی و فضولات تولیدی که با بالارفتن وزن و زی‌توده ماهیان توأم است، افزایش هدایت الکتریکی را در تیمارهای مختلف باعث شد. پس از صید ماهیان و قطع غذادهی میزان افزایش هدایت الکتریکی به دلیل تراوش مواد از فضولات و سایر پروسه‌های بیوشیمیایی ادامه داشت اما از شدت آن کاسته شد.

مقدار سختی کل نیز همانند هدایت الکتریکی برای تمامی اوزان، تا روز سوم افزایش داشت. این افزایش در راستای افزایش میزان غذادهی بود. همچنان که از جدول ٧ مشخص است مصرف کم غذا، تأثیر چندانی بر افزایش سختی ندارد. اما باگذشت زمان به علت ادامه تراوش مواد از فضولات تولیدی، به تدریج تغییرات جزیی نموده و با شدت کمتری رو به افزایش نهاد.

میزان پتاسیم نیز در ابتدا افزایش داشته و پس از صید ماهیان نیز با شیب کمتر افزایش یافت. این حالت در چند آزمایش انجام شده دیگر نیز مشهود بوده است. در این آزمایش تفاوت غلظت بین میکرونوترینت‌ها معنی دار نبوده است (Schneider *et al*., 2005). سایر عناصر نیز از چنین روندی پیروی کرده‌اند.

سدیم محلول درآب ارتباط مستقیم با غذای مصرفی دارد. در مورد وزن اول که ناشی از انحلال و تراوش آن از فضولات دفع شده است، نظر به مصرف کم غذا، تفاوت معنی‌داری با روز شروع آزمایش ندارد. در مورد وزن‌های بالاتر که مصرف غذا افزایش می‌یابد این تفاوت بیشتر می‌شود (جدول ١١).

مقدار منگنز موجود درآب به میزان ناچیزی بوده و همین مقدار کم نیز جذب سطوح نمونه‌برداری شده (APHA, 1980)، که میزان سنجش شده را کم نشان داد (٠/٠٠١-٠ میلی‌گرم در لیتر).

به دلیل فعل و انفعالات فیزیکو شیمیایی که کلسیم با سایر عناصر و ترکیبات (مانند آهن و فسفر) دارد، نوسانات

ناچیزی با گذشت زمان پیدا می‌کند. چرا که با افزایش کلسیم موجود در غذا، این ترکیبات نیز افزایش داشته‌اند و در نهایت تفاوت ناچیزی بین اغلب تیمارها مشاهده می‌شود. رسوب کلسیم به اتفاق برخی عناصر غلظت آنها را در آب کاهش می‌دهد (Stewart *et al*., 2006).

با توجه به نقشی که پساب کارگاه‌های پرورش ماهی در وارد نمودن انواع نوترینت‌ها به آب‌های طبیعی دارند، با دانستن نوع و میزان این مواد می‌توان با روش‌های علمی، اقدام به حذف آنها نمود و بدین ترتیب مانع ورود مستقیم آنها به آب‌های طبیعی شد. فضولات ماهی در نقاطی از استخر که گردش آب در آنجا کند است، رسوب می‌نماید. باقیماندن فضولات در آنجا تراوش نوترینت‌ها را به دنبال دارد. مسلم است که حذف مواد محلول از آب نسبت به مواد تکه‌ای جامد، بسیار مشکل‌تر و گاهی غیرممکن است. این موضوع در سیستم‌های گردشی آب پرورش ماهی نمود بهتری پیدا می‌نماید. بنابراین، بهتر است هرچه سریع‌تر اقدام به حذف فضولات از آب نمود تا اینکه در جریان گردش، باعث بالارفتن غلظت آلاینده‌ها در آب نشود. حتی در روش‌های سنتی پرورش قزل‌آلا، لازم است استخرها طوری طراحی و ساخته شوند که محلی برای ته‌نشینی فضولات در آنها بوجود نیاید و یا اینکه فضولات ته‌نشین شده، هر چه سریع‌تر از استخرها خارج شود.

لازم است که آزمایشی طراحی شود تا اینکه میزان غذا یا فضولات ورودی به میزان مشخصی از آب، ثابت و یکسان باشد تا بتوان مقایسه دقیق‌تری از میزان تراوش را برای فضولات مترشحه از ماهیان با وزن‌های مختلف بدست آورد. در این حالت می توان میزان تراوش مواد و معدنی شدن آن را در طی زمان با یکدیگر مقایسه نمود.

با توجه به اینکه باکتری‌ها نقش عمده‌ای در جذب و دفع نوترینت‌ها دارد، می‌توان با مقایسه شرایط هوازی و بی‌هوازی، وضعیت تغییرات غلظت مواد را در این شرایط سنجید.

References

- APHA-American public health association, 1980. AmericanWater Works Association, and Pollution Control Federal 16th ed.,APHA, Washington, DC, 1268 p.
- Brinker, A.T., Koppe, W., Rösch, R., 2005. Optimised effluent treatment by stabilised trout faeces. Aquaculture 249, 125–144.
- Bergheim, A., Cripps, S.J., Liltved, H., 1998. A system for the treatment of sludge from land-based fish-farms. Aquatic Living Resources 11, 279-287.
- Bergheim, A., Sgard, T., 1996.Waste production in aquaculture. In: Baird, D.J., Beveridge, M.C.M., Kelly, L.A., Muir, J.F., Aquaculture and Water Resource Management. Blackwell Science, Oxford, 50–80.
- Blancheton, J., Thierry Boujard, T., Aubin, J., Moutounet, Y., Przybyla, C., Belaud, A., 2008. Comparison of two methods for evaluating waste of a flow through trout farm. Aquaculture 274, 72–79.
- Brinker, A., Rösch, R., 2005. Factors determining the size of suspended solids in a flow-through fish farm. Aquaculture Engineering 33, 1–19.
- Camargo, J.A., 1992. Structural and trophic alternations in macrobenthic communities downstream from a fish farm outlet. Hydrobiologia 242, 41–49.
- Camargo, J.A, Cristina Gonzalo, C., Alonso, L., 2011.Assessing trout farm pollution by biological metrics and indices based on aquatic macrophytes and benthic macroinvertebrates: A case study. Ecological Indicators 11, 911–917.
- Cripps, S.J., Bergheim, A., 2000. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. Aquaculture Engineering 22, 33-56.
- Dosdat, A., Servais, F., Metailler, R., Huelvan, C., Desbruyeres, E., 1996. Comparison of nitrogenous losses in five teleost fish species. Aquaculture 141, 107–127.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W.B., Hassan, A., 2010. A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system.Bioresource Technology 101, 1511–1517.
- Foy, R.H., Rosellb, R., 1991.Fractionation of phosphorus and nitrogen loadings from a Northern Ireland fish farm. Aquaculture 96, 3l-42.

- Lam, S.S., Ambak, A.M., Jusoh, A., Law, T.A., 2008. Waste excretion of marble goby (*Oxyeleotris marmorata Bleeker*) fed with different diets. Aquaculture 274, 49–56.
- McMillan, J.D., Wheaton, F.W., Hochheimer, J.N., Soares, J.J., 2003. Pumping effect on particle sizes in a recirculating aquaculture system. Aquaculture Engineering 27, 53–59.
- Piedrahita, R.H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. Aquaculture 226, 35–44.
- Qian, P.Y., Wu, M., I-Hsun Ni, I.H., 2001. Comparison of nutrients release among some maricultured animals. Aquaculture 200, 305–316.
- Rafiee, G.R., 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, 109– 118.
- Rafiee, G.R., Saad, C.R., Kamarudin, M.S., Ismail, M.R., Sijam, K., 2005. Usage of a aquaculture wastewater production in a recirculating aquaculture system as a medium for lettuce production. Iranain Journal of natural Resources 58, 591– 601.
- Rafiee, G.R., Kamarudin, M.S., 2005. Design of a simple closed aquaponic system and production of red tilapia *(Oreochromis sp*.) and lettuce. Iranain Journal of natural Resources 59, 167– 175.
- Ronner, U., Sorensson, F., 1985. Denitrification rates in the low-oxygen waters of stratified Baltic proper. Applied Environmental Microbiology 50, 801–806.
- Roque, E., Blancheton, J.P., 2008. Comparison of two methods for evaluating waste of a flow through trout farm. Aquaculture 274,72–79.
- Ruiz, G., Hall, R., 1996. Phosphorus fractionation and mobility in the food and faeces of hatchery reared rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss)*. Aquaculture 145, 183–193.
- Schneider, O.V., Sereti, E.H., Eding, J., Verreth, A.J., 2005. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems.Aquacultural Engineering 32, 379–401.
- Schulz, C., Gelbrecht, J., Rennert, B., 2003.Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow. Aquaculture 217, 207–221.
- Sindilariu, P.D., Brinker, A., Reiter, R., 2009. Waste and particle management in a commercial, partially recirculating trout farm. Aquacultural Engineering 41, 127–135.
- Stephens, W.W., Farris, J.L., 2004. Instream community assessment of aquaculture effluents. Aquaculture 231, 149-162.
- Stewart, N.T, Boardman, G.D., Helfrich, L.A, 2006.Characterization of nutrient leaching rates from settled rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sludge. Aquacultural Engineering 35, 191-198.
- Summerfelt, S.T., Adler, P.R., Glenn, D.M., Kretschmann, R.N., 1995. Aquaculture sludge removal and stabilization within created wetlands. Aquaculture Engineering 19, 81-92.
- Terai, H., Yoh, M., Saijo, Y. 1987. Active denitrification in the hypolimnetic water column in Lake Kizaki. Japan Journal of Limnology 48, 219-224.
- Thorpe, J.E., Talbot C. Talbot, Miles M.S., 1990. Food consumption in 24 hours by Atlantic salmon (*salmo salar*) in sea cage. Aquaculture 90, 41-47.

Effluent Characterization and Rate of Mineralization of Sludge Produced by Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)

M. Harsij[1]*, G. Rafiee[2], A. Mirvaghefi[2] and H. Asadi[2]

[1] Faculty of Agriculture and Natural Resources, university of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran

[2] Faculty of Natural Resources, university of Tehran, Karaj, Iran

(Received: 19-06-2011 - Accepted: 09-01-2012)

Abstact

In this research, sludge characterization and rates of mineralization was evaluated in different sizes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in the culture systems. Four weight groups of fish (20±3; 50±5; 100±9; 200±10 gr) in triplicates were introduced and cultured in the experimental units (200 liter tanks) for a three day period. The fish were fed with a commercial dry feed pellete (Faradaneh Co.). The rates of mineralization due to the effect of natural flora (microorganisms) of bacteria on the produced sludge, was detected. In this respect, the fish captured and remainder sludge and the rate of macro and microelements recorded in all the treatments during a 7 day period. Concentration of TAN (Total Ammonia Nitrogen) and NO_3^-, shwoed significant differences among all treatments within initial day until the third day ($p<0.05$). Concentration of total phosphorous (TP) increased and showed significant differences among treatments after the first stage of the experiment (three days) ($p<0.05$). EC and total hardness showed significant differences among the treatments after the first stage of the experiment as well ($p<0.05$). It was concluded that, bacterial mineralization of sludge and organic matter had larger effect at the first three days, in comparison with after harvest of fishes as well.

Keywords: Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), Sludge characterization, Nutrient leaching, Mineralization

*Corresponding author: Tel: +981722237508 Fax: +981722221769 E-mail: m_harsij80@yahoo.com