

بررسی کارآیی حذف مواد مغذی پساب حاصل از تراکم‌های مختلف پرورش فیل ماهی (*Huso huso*) توسط کرم پرتار دریایی (*Nereis diversicolor*)

ذبیح اله پژند^۱، مهدی سلطانی^{۲*}، ابوالقاسم کمالی^۱، محمود بهمنی^۳

۱- گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- گروه بهداشت و بیماری‌های آبزیان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- موسسه تحقیقات بین‌المللی تاسماهیان دریای خزر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۴

چکیده

در این تحقیق اثرات پالایشی کرم پرتار دریایی در تصفیه و حذف مواد مغذی پساب ناشی از پرورش فیل ماهی در تراکم‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این تحقیق تعیین میزان تراکم‌های پرورش فیل ماهی و کرم نرئیس به منظور حذف موثر مواد مغذی خروجی آب حاصل از پرورش فیل ماهی بود. بدین منظور سه تراکم مختلف فیل ماهی (۲-۳، ۳-۴ و ۴-۵ کیلو گرم در متر مربع) با تراکم ثابت کرم نرئیس در دمای آب ۲۳ درجه سانتی‌گراد طی مدت ۸ هفته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که کرم نرئیس با تغذیه از آب خروجی حاصل از پرورش فیل ماهی می‌تواند رشد نماید. افزایش بیوماس و درصد بازماندگی کرم نرئیس در تیماری که از پساب حاصل از پرورش فیل ماهی با تراکم ۳-۴ کیلوگرم در متر مربع (NWF_2) استفاده گردید بالاتر از تیمارهای NWF_1 ، NWF_3 (کرم نرئیس تغذیه شده از پساب حاصل از پرورش فیل ماهی با تراکم‌های به ترتیب ۲-۳ و ۴-۵ کیلوگرم در متر مربع) و WF_1 (پساب حاصل از پرورش فیل ماهی با تراکم ۲-۳ کیلوگرم در متر مربع بدون حضور کرم نرئیس) بود. بیشترین و کمترین قابلیت حذف مواد مغذی پساب را BOD_5 (۸۵ درصد) در تیمار NWF_2 در مقایسه با تیمار WF_1 (۱۰ درصد) و آمونیاک (۳۵ درصد) در تیمار NWF_1 در مقایسه با تیمار WF_1 (۲۰ درصد) شامل گردید. در کلیه تیمارها، کارآیی حذف مواد مغذی پساب پرورش فیل ماهی بدون حضور کرم نرئیس (WF_1) از پایین‌ترین میزان برخوردار بود. حضور کرم نرئیس تاثیر چندانی در قابلیت حذف میزان نیترات نداشت. همچنین نتایج به‌دست آمده حاکی از اختلاف معنی‌دار در کاهش مواد مغذی پساب حاصل از پرورش فیل ماهی با حضور و بدون حضور کرم نرئیس بود. راه‌اندازی چنین سیستمی نه تنها باعث حذف مواد مغذی پساب می‌گردد بلکه نقش مهمی را به عنوان یک محصول ثانویه از نظر اقتصادی و بهره‌وری بدلیل عدم هزینه غذا برای تغذیه کرم نرئیس بازی می‌نماید.

کلمات کلیدی: فیل ماهی، کرم پرتار نرئیس، زیست پالایی، پساب.

مقدمه

امروزه به لحاظ حمایت از ذخایر ماهیان خاویاری حوضه جنوبی دریای خزر، توجه به پرورش تجاری این ماهیان که بدون شک گامی در جهت حفاظت از ذخایر و تنوع بیولوژیک آنها در طبیعت خواهد بود، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بیماریهای عفونی در ماهیان در اثر استرس‌های محیطی و عوامل وابسته به تغذیه ایجاد می‌شوند. این مسئله تا زمانی که تغذیه کافی و مناسب و کنترل موثر کیفیت آب به طور کامل به دست نیامده است، می‌تواند به طور جدی و اساسی ادامه یابد (صادقی راد و همکاران، ۱۳۹۲). انگیزه مصرف مجدد فاضلاب تصفیه شده در پرورش آبزیان در کشورهای مختلف متفاوت می‌باشد به طوریکه، در کشورهای در حال توسعه هدف از استفاده مجدد از پساب، تولید غذای زیادتر و بازیافت از مواد غذایی موجود در پساب است این در حالی است که در کشورهای توسعه‌یافته فقط تصفیه پساب برای ممانعت از آلودگی بیشتر محیط زیست نیز مطرح است (هرسیج و آدینه، ۱۳۹۶).

توجه به پرورش ماهیان خاویاری در سالهای اخیر و افزایش تعداد مزارع پرورشی بویژه در مجاورت رودخانه‌ها موجب ورود پساب اکثر آنها به محیط‌های آبی مجاور شده که با گذشت زمان و افزایش کارگاه‌های پرورشی و آب‌خروجی، موجب توجه اثرات پساب به محیط زیست گردید (Wu, 1995; Tsutsumi and Inoue 1996; Tovar, et al., 2000). بر همین اساس محققین در توسعه تکنولوژیهای جدیدی به منظور کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از مواد مغذی حاصل از آبی‌پروری متمرکز شدند (Folke et al., 1998; Crab, et al., 2007).

ماهیان خاویاری به عنوان گونه‌های با ارزش شیلاتی، بدلیل صید بی‌رویه و غیرقانونی، تخریب زیستگاه‌ها و نابودی مناطق تخم‌ریزی طبیعی آنها در معرض خطر می‌باشند و پرورش این گونه‌ها در بسیاری از کشورها در دستور کار قرار گرفت و تولید آبی‌پروری سالانه جهانی ماهیان خاویاری به ۴۰۲۷۳ تن در سال ۲۰۱۰ رسید (FAO, 2012). گونه فیل ماهی به عنوان یک گونه با ارزش شیلاتی مورد انتخاب پرورش‌دهندگان بخش خصوصی بصورت تجاری قرار گرفت. بسیاری از پرورش‌دهندگان در ۱۹ استان کشور اقدام به تولید این محصول نمودند و در طراحی‌های انجام شده در سایت این مراکز، آب مورد مصرف در پرورش پس از استفاده از سیستم خارج شده و به محیط زیست (رودخانه یا دریا) وارد می‌گردد و هیچگونه استفاده دیگری از آب خروجی صورت نمی‌گیرد.

آب خروجی حاصل از آبی‌پروری حاوی مقادیر زیادی از غذای زاید (غذای خورده نشده) و مواد دفعی می‌باشد. بنابراین، افزایش بهره‌وری با کمترین اثرات زیست محیطی یکی از مهمترین موضوعات توسعه آبی‌پروری پایدار محسوب می‌گردد (Honda and Kikuchi, 2002). محققین زیادی در سراسر دنیا بر این باورند که با توسعه تکنولوژی‌های جدید می‌توان اثرات زیست محیطی ناشی از آبی‌پروری را به ویژه در بهبود کیفیت آب و استفاده بهینه از آب خروجی توسط موجوداتی در سیستم آبی‌پروری کاهش داد (Folke et al., 1998; Crab et al., 2007). اخیراً فیلترهای مکانیکی به همراه فیلتراسیون به کمک بی‌مهرگان شامل نرم‌تنان و همچنین جلبکها جهت افزایش کارایی فیلتر مواد مغذی معلق و محلول آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (Shpigel et al., 1993).

های مختلف مد نظر قرار گرفت تا از یک طرف موجب بهبود کیفیت آب شده و از طرف دیگر هزینه غذای کرم‌های پرتار را با تغذیه از خروجی آب پرورش به عنوان یک محصول دیگر کاهش دهد.

مواد و روش‌ها

کرم *N. diversicolor* جمع‌آوری شده از تالاب انزلی در استان گیلان بصورت زنده به موسسه تحقیقات بین‌المللی تاسماهیان دریای خزر انتقال یافتند و نسبت به تکثیر و پرورش آنها اقدام شد. کرم‌های جوان با وزن 0.001 ± 0.003 گرم و مجموع بیوماس ذخیره شده در هر تانک به میزان 3.71 ± 82.37 گرم در متر مربع (تقریباً ۲۰۰۰ کرم در هر متر مربع) مورد استفاده قرار گرفتند. کرم‌ها داخل ۱۲ تانک ۴۰ لیتری حاوی یک لایه ۱۰-۸ سانتی‌متری از رسوب ماسه‌ای (۱۰۰-۵۰ میکرومتر) قرار گرفتند. ماسه با آب تازه شستشو و توسط نور خورشید خشک گردید. ۴ تیمار با سه تکرار در نظر گرفته شد. در طول آزمایش هیچ غذای اضافه به جزء پساب خروجی از مخازن پرورش فیل ماهی به کرم‌ها داده نشد.

بچه فیل ماهیان (میانگین طول و وزن اولیه به ترتیب 19.54 ± 0.14 سانتی‌متر و 27.78 ± 0.27 گرم) تکثیر شده از مولدین فیل ماهیان وحشی در مرکز تکثیر و بازسازی ذخایر ماهیان خاویاری شهید بهشتی به سالن تکثیر و پرورش موسسه تحقیقات بین‌المللی تاسماهیان دریای خزر انتقال یافتند. آنها به درون ۱۲ تانک ۸۰ لیتری (۶۰ سانتی‌متر قطر و ۴۰ سانتی‌متر عمق آبگیری) معرفی گردیدند و آزمایشها برای مدت ۵۵ روز به طول انجامید.

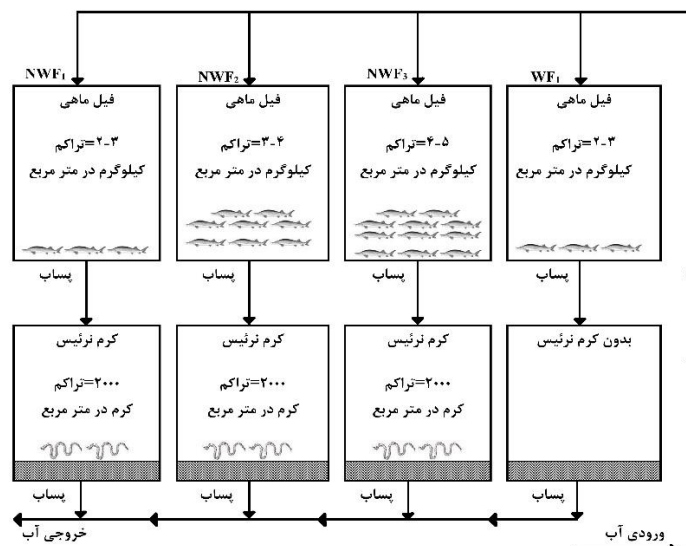
برخی محققین معتقدند که کرم‌های پرتار *Perinereis nuntia vallata* با تغذیه از مدفوع و بقایای موجودات دیگر آبرزی نقش مهمی را در چرخه غذایی و حفظ محیط زیست موجودات بنتیک بازی می‌کند (Henriksen et al., 1983; Hutchings, 1998). چندین مطالعه به منظور کاهش مواد آلی و غیرآلی با استفاده از عادات غذایی پرتاران در سطح آزمایشگاهی، پرورشی و شرایط پرورش در پن انجام گردید. نتایج این مطالعات حاکی از توانایی کرم پرتار *Perinereis nuntia vallata* جهت کاهش نیتروژن مواد آلی حاصل از سیستم گردش در پرورش ماهی فلاندر بود (Honda and Kikuchi, 2002). بنابراین، یکی از نتایج حاصل از آبرزی‌پروری چند منظوره روشهای عملی کاهش اثرات زیست محیطی حاصل از پرورش ماهی از نظر بیولوژیکی و تکنیکی می‌باشد. مکانیزم‌هایی که بتواند تجمع مواد زائد را کاهش دهد و مواد مغذی زائد را به سمت سود بیشتر در سیستم چند منظوره سوق دهد مورد اشاره در این طرح بود.

کرم نرئیس از شاخه کرم‌های حلقوی (Annelidae) و از جمله پرتارانی (Polychaeta) است که در تغذیه انواع ماهیان اقتصادی کفزی‌خوار استفاده می‌شود و بدلیل تغذیه از مواد آلی پوسیده و یا مواد دفعی سایر جانوران (Batista et al., 2003) از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. اهمیت *Nereis diversicolor* در زنجیره غذایی در خصوص تغذیه میگو و ماهی به دلیل میزان بالای اسیدهای چرب چند غیراشباع به اثبات رسیده است (Diniz, 1992).

هدف از این تحقیق استفاده بهینه از مواد مغذی آب خروجی ناشی از آبرزی‌پروری فیل ماهی در تراکم-

۴ تیمار شامل تیمار NWF_1 ، NWF_2 ، NWF_3 (کرم نرئیس تغذیه شده با پساب حاصل از پرورش فیل ماهی با تراکم‌های ۲-۳، ۳-۴ و ۴-۵ کیلوگرم در متر مربع) (پور علی و محسنی، ۱۳۸۶) و تیمار WF_1 (پساب حاصل از پرورش فیل ماهی با تراکم ۲-۳ کیلوگرم در متر مربع بدون حضور کرم نرئیس) به عنوان تیمار شاهد و هر تیمار با سه تکرار در نظر گرفته شد (شکل ۱). در تیمارهای مورد نظر بستر ماسه‌ای به عنوان فیلتر شنی در

این سیستم ترکیبی پرورش کرم نرئیس و فیل ماهی مورد استفاده قرار گرفت. فیل ماهیان از جیره غذایی ماهیان خاویاری شرکت بیومار (اندازه ۱/۵ میلی‌متری) حاوی پروتئین ۴۲ درصد، چربی ۲۲ درصد، کربوهیدرات ۱۵ درصد، فیبر ۳/۳ درصد و خاکستر ۸ درصد بر اساس آنالیز کارخانه به میزان ۳ درصد وزن بدن طی ۴ وعده روزانه مورد تغذیه قرار گرفتند.



شکل ۱: طراحی سیستم استفاده از مواد مغذی پساب حاصل از پرورش فیل ماهی توسط کرم نرئیس (*N. diversicolor*)

زمانیکه بیومتری ماهیان بطور یک هفته در میان انجام پذیرفت میزان غذای مورد نیاز بچه ماهیان بر همان اساس تعیین می‌گردید. ماهیان ۲۴ ساعت قبل از بیومتری گرسنه ماندند تا غذای هضم شده داخل روده‌ها خارج و از استرس پرهیز گردد. ماهیان و کرمها قبل از معرفی به تانکها شمارش و توزین اولیه شدند و بعد از مدت زمان پرورش (۵۵ روز) به منظور تعیین میزان رشد و بازماندگی مجدداً شمارش و توزین گردیدند. پارامترهای اندازه گیری شده حاصل از تاثیر غذا و پساب در رشد ماهیان و کرمها شامل:

لگاریتم - لگاریتم وزن نهایی) = SGR ضریب رشد ویژه
 $100 \times \text{روزها} / (\text{وزن اولیه} - \text{لگاریتم وزن نهایی}) = WG(g)$ افزایش وزن
 $FW(g) - IW(g)$ (میانگین وزن اولیه)
 $(S) (\%) =$ تعداد ماهی یا کرم باقیمانده در (S) بازماندگی
 $100 \times (\text{تعداد اولیه ماهی یا کرم}) / (\text{انتهای آزمایش}) =$
 $(g) \text{ بیوماس اولیه} - (g) \text{ بیوماس نهایی} =$ افزایش بیوماس
 $(FCR) =$ ضریب تبدیل غذایی
 $W_f / (\text{وزن ماهی یا کرم در پایان آزمایش}) = F$
 W_o کرم در شروع (آزمایش)

نرئیس با استفاده از فرمول $TOM = (A-B / A-C) \times 100$ % که A برابر وزن بوته چینی با رسوب بعد از خشک شدن در آون، B برابر وزن بوته‌ی چینی با رسوب بعد از خشک شدن در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و C برابر وزن بوته چینی خالی تعیین گردید.

به منظور بررسی توزیع نرمال داده‌ها در نمونه‌های مورد بررسی از آزمون Shapiro-Wilk استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها، با توجه به نرمال بودن آنها با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) یک طرفه One-way analysis انجام شد. جهت مقایسه میانگین داده‌های حاصل از پارامترهای کیفی آب در خروجی-های فیل ماهی و کرم نرئیس و همچنین فاکتورهای رشد و بازماندگی میان تیمارهای پرورشی فیل ماهی و کرم نرئیس از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. همه داده‌ها به صورت میانگین همراه با انحراف معیار گزارش شدند. از نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ جهت آنالیز آماری داده‌ها و از برنامه Excel برای رسم نمودارها استفاده گردید.

نتایج

فاکتورهای رشد فیل ماهی در جدول ۱ نشان داده شده است. اختلاف معنی‌داری در ضریب چاقی و بازماندگی بین تیمارها بعد از ۸ هفته پرورش وجود نداشت ($P > 0.05$). این در حالی بود که اختلاف معنی-داری در SGR، بیوماس نهایی و افزایش وزن بدست آمده در میان تیمارها مشاهده گردید ($P < 0.05$). همچنین بر اساس طراحی صورت گرفته در این بررسی اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار NWF_1 و WF_1 وجود نداشت.

درصد حذف غلظت‌های اندازه‌گیری شده پساب با استفاده از فرمول Lau و همکاران در سال ۱۹۹۸ محاسبه گردید: $(100 \times \text{غلظت ماده مغذی در خروجی ماهی} / \text{غلظت ماده مغذی در خروجی کرم}) - 100 =$ درصد حذف ماده مغذی میزان آب ورودی مورد استفاده به تانک‌های پرورش فیل ماهی $1/8 - 1/5$ لیتر در دقیقه تنظیم گردید و هوادهی آب در هر تانک انجام پذیرفت. دمای آب، اکسیژن محلول، شوری، EC و pH آب بطور روزانه توسط دستگاه مولتی پارامتر HACH (مدل HQ 40d) با مقادیر میانگین 23.4 ± 0.7 درجه سانتی‌گراد، 7.36 ± 0.39 میلی‌گرم در لیتر، 1 ± 0.18 گرم در هزار، 40 ± 1060 میکروموس و 0.18 ± 0.31 به ترتیب مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. آب مورد استفاده بطور مداوم تعویض گردید.

همچنین پارامترهای کیفی آب شامل آمونیاک (NH_3-N) با استفاده از روش ۸۱۵۵ توسط سالیسیلات، نیتريت (NO_2-N) با استفاده از روش ۸۵۰۷ توسط ترکیبات دیازونیوم، نیتريت (NO_3-N) با استفاده از روش ۸۱۹۲ کادمیوم، نیتروژن کل (TN) در روش کادمیوم، فسفر کل (TP) در روش اسید آسکوریک با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر HACH مدل DR 2800 مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. BOD_5 با استفاده از روش استاندارد (2005) APHA تعیین شد. غلظت کل مواد معلق (TSS) همچنین بر اساس روش استاندارد (1975) Danish انجام شد. درصد مواد آلی رسوبات بستر کرم نرئیس اندازه‌گیری شد. وزن خشک رسوبات تعیین و سپس به مدت ۴/۵ ساعت در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک خاکستر آزاد شده اندازه‌گیری شد. درصد مواد آلی (TOM) رسوبات بستر کرم

جدول ۱: شاخص های رشد بچه فیل ماهی در تراکم های مختلف تغذیه شده طی ۸ هفته

فیل ماهی				شاخص ها
WF ₁	NWF ₃	NWF ₂	NWF ₁	
۱۹/۴۸±۰/۲۲ ^a	۱۹/۳۹±۰/۴۹ ^a	۱۹/۵۸±۰/۴۹ ^a	۱۹/۶±۰/۱۶ ^a	طول اولیه (سانتی متر)
۲۶/۷۶±۰/۸۹ ^b	۲۳/۶۵±۰/۹۷ ^a	۲۵/۸۳±۰/۵۶ ^{ab}	۲۶/۵±۱/۲ ^b	طول نهایی (سانتی متر)
۸۲/۱۸±۳/۱۴ ^c	۴۵/۳۸±۳/۹۵ ^a	۶۶/۶۶±۵/۰۳ ^b	۸۹/۳۳±۷/۰۲ ^c	وزن نهایی (گرم)
۲۰۵۴/۶±۷۸/۶ ^a	۴۵۳۸/۶±۳۹۵/۹ ^c	۳۳۳۳/۳±۲۵۱/۶ ^b	۲۲۳۳/۳±۱۷۵/۶ ^a	بیوماس نهایی (گرم در متر مربع)
۱۹۶/۳±۱۵/۳ ^a	۶۴/۳±۱۵/۵ ^a	۱۳۹/۸±۱۵/۱ ^b	۲۲۱/۲±۲۳/۶ ^a	وزن کسب شده (درصد)
۲۵ ^a	۱۰۰ ^c	۵۰ ^b	۲۵ ^a	تراکم نهایی (عدد در متر مربع)
۱۰۰±۰/۰۰	۱۰۰±۰/۰۰	۱۰۰±۰/۰۰	۱۰۰±۰/۰۰	درصد بازماندگی (درصد)
۱/۹۷±۰/۱۲ ^c	۰/۸۹±۰/۱۷ ^a	۱/۵۹±۰/۱۱ ^b	۲/۱۱±۰/۱۳ ^c	ضریب رشد ویژه (درصد در روز)
۳۱۵/۲±۴/۴۷ ^a	۶۵۵/۹۴±۲۵/۱۶ ^c	۴۸۹/۶۶±۱۸/۸۱ ^b	۳۱۰/۳±۵/۷۷ ^a	میزان کل غذای مصرف شده (گرم)
۱/۲±۰/۲ ^a	۱/۹۱±۰/۴۷ ^b	۱/۲±۰/۰۵ ^a	۱/۰۱±۰/۰۸ ^a	ضریب تبدیل غذایی
۰/۴۳±۰/۰۵ ^a	۰/۳۴±۰/۰۶ ^a	۰/۳۸±۰/۰۱ ^a	۰/۴۸±۰/۰۸ ^a	ضریب چاقی

حروف انگلیسی غیر مشترک در هر سطر نشان دهنده تفاوت معنی دار میانگین تیمارها با یکدیگر می باشند (P<0.05).

درصد) در تیمار NWF₂ بالاتر از سایر تیمارها بود (جدول ۲). اختلاف معنی داری در ضریب رشد ویژه و افزایش بیوماس بین تیمارهای NWF₁ و NWF₂ وجود داشت (P<0.05) و در حالیکه این اختلاف با تیمار NWF₃ معنی دار نبود (P>0.05).

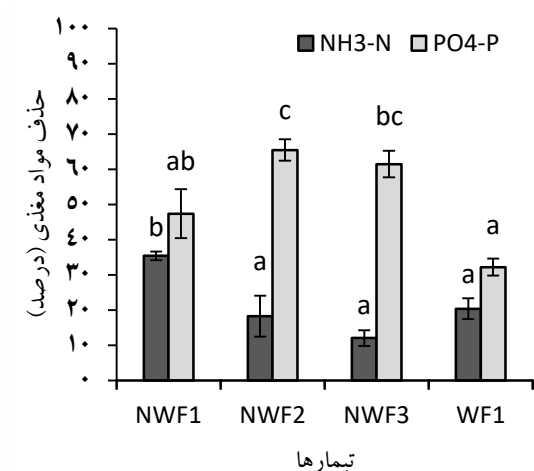
نتایج رشد و بازماندگی *N. diversicolor* در جدول ۲ ارائه گردید. میزان بیوماس نهایی (۲۶/۴۵±۲۶۵ گرم در متر مربع)، افزایش بیوماس (۲۷/۰۶±۱۸۳/۵۸ گرم در متر مربع)، تراکم نهایی (۱۴۰±۱۷۱۵ عدد در متر مربع)، ضریب رشد ویژه (۲/۳۴±۰/۲۷) و درصد بازماندگی (۵/۶±۶۸/۶ در روز) و درصد بازماندگی (۵/۶±۶۸/۶ در روز).

جدول ۲: شاخص های رشد *N. diversicolor* تغذیه شده از پساب پرورش فیل ماهی در تراکم های مختلف

<i>N. diversicolor</i>			شاخص ها
NWF ₃	NWF ₂	NWF ₁	
۰/۱۵۱±۰/۰۳	۰/۱۵۴±۰/۰۱	۰/۱۲۲±۰/۰۱	وزن نهایی (گرم)
۲۰۶/۵۱±۲۲/۲۲ ^a	۲۶۵/۰۰±۲۶/۴۵ ^a	۲۰۳/۳۳±۱۶/۰۷ ^a	بیوماس نهایی (گرم در متر مربع)
۱۲۴/۲۶±۱۰/۰۳ ^{ab}	۱۸۳/۵۸±۲۷/۰۶ ^b	۱۱۸/۳۳±۱۰/۵۸ ^a	افزایش بیوماس (گرم در متر مربع)
۳۶۰/۴۲±۶۸/۷۹	۳۸۵/۷۳±۱۰۰/۵۹	۲۶۶/۳۶±۵۲/۹۳	افزایش وزن (درصد)
۱۳۹۰±۱۹۸ ^a	۱۷۱۵±۱۴۰ ^b	۱۶۵۶±۱۱۱ ^b	تراکم نهایی (عدد در متر مربع)
۵۵/۶±۷/۹۴ ^a	۶۸/۶±۵/۶ ^a	۶۶/۲۶±۴/۴۷ ^a	درصد بازماندگی (درصد)
۲/۷۶±۰/۲۸ ^b	۲/۸۴±۰/۳۹ ^b	۲/۳۴±۰/۲۷ ^a	ضریب رشد ویژه (درصد در روز)

حروف انگلیسی غیر مشترک در هر سطر نشان دهنده تفاوت معنی دار میانگین تیمارها با یکدیگر می باشند (P<0.05).

(۱۲/۰۵ درصد) مشاهده شد. بیشترین و کمترین قابلیت حذف میزان فسفات ($PO_4\text{-P}$) به ترتیب در دو تیمار NWF_2 (۶۵/۴۶ درصد) و WF_1 (۳۲/۲۱ درصد) بود و همچنین از نظر آماری اختلاف معنی داری بین تیمارهای NWF_2 و NWF_3 مشاهده نگردید ($P>0/05$) (شکل ۲).

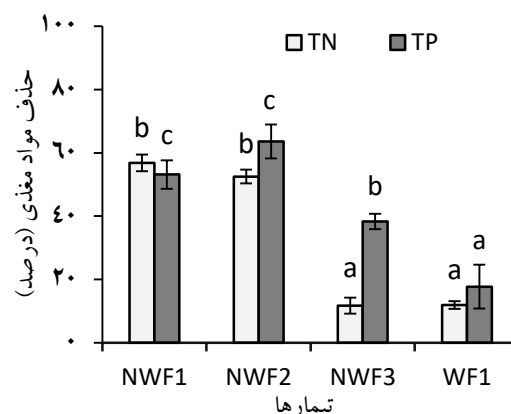


شکل ۳: درصد میزان حذف فاکتورهای آمونیاک ($NH_3\text{-N}$) و فسفات ($PO_4\text{-P}$) در تیمارهای مختلف طی دوره آزمایش (حروف انگلیسی غیر مشترک نشان دهنده تفاوت معنی دار میانگین تیمارها با یکدیگر می باشند)

بالاترین و پایین ترین قابلیت حذف میزان نیتريت ($NO_2\text{-N}$) در دو تیمار NWF_1 و WF_1 به ترتیب دارای ۹۱ و ۴۴/۵ درصد با دارا بودن اختلاف آماری بین آنها ($P<0/05$) تعیین گردید. سیستم دارای کرم نرئیس در کارآیی حذف میزان نیترات به جزء تیمار NWF_3 تاثیر بسزایی نداشت و اختلاف معنی داری بین تیمارهای NWF_2 و NWF_3 مشاهده نگردید ($P>0/05$) (شکل ۴).

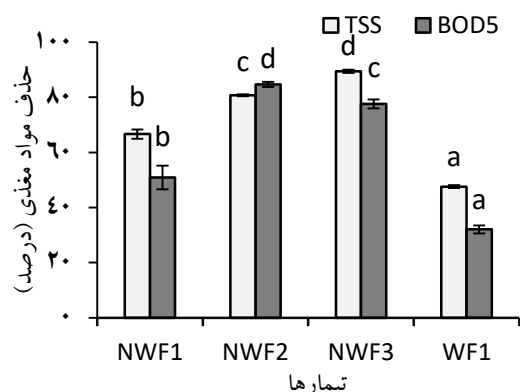
میزان قابلیت حذف مواد مغذی در پساب خروجی پرورش کرم نرئیس در اشکال ۲ تا ۵ نشان داده شده است. بالاترین قابلیت حذف میزان نیتروژن کل (TN) در دو تیمار NWF_1 و NWF_2 به ترتیب دارای ۵۶/۸۶ و ۵۲/۵۱ درصد بدون اختلاف آماری بین آنها بود. کمترین کارآیی حذف TN در تیمارهای NWF_3 (۱۱/۷۶ درصد) و WF_1 (۱۱/۹۳ درصد) مشاهده گردید (شکل ۲).

بالاترین کارآیی حذف فسفر کل (TP) در تیمار NWF_2 با کاهش ۶۳/۵۷ درصد مشاهده گردید که با تیمار NWF_1 اختلاف معنی داری نشان نداد ($P>0/05$). قابلیت حذف TP شرایط تقریباً مشابهی را با فاکتور TN در این سیستم پرورش نشان داد (شکل ۲).

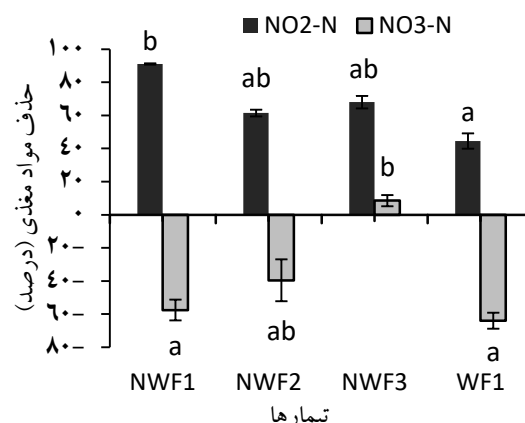


شکل ۲: درصد میزان حذف فاکتورهای نیتروژن کل (TN) و فسفر کل (TP) در تیمارهای مختلف طی دوره آزمایش (حروف انگلیسی غیر مشترک نشان دهنده تفاوت معنی دار میانگین تیمارها با یکدیگر می باشند)

درصد قابلیت حذف فاکتور آمونیاک ($NH_3\text{-N}$) در تیمار NWF_1 که از کمترین تراکم ماهی برخوردار بود بیشتر از سایر تیمارها مشاهده گردید و اختلاف معنی داری با سایر تیمارها داشت. کمترین کارآیی حذف فاکتور آمونیاک ($NH_3\text{-N}$) در تیمار NWF_3



شکل ۵: درصد میزان حذف فاکتورهای BOD₅ و کل مواد معلق آب (TSS) در تیمارهای مختلف طی دوره آزمایش (حروف انگلیسی غیر مشترک نشان دهنده تفاوت معنی دار میانگین تیمارها با یکدیگر می باشند)



شکل ۴: درصد میزان حذف فاکتورهای نیتريت (NO₂-N) و نیترات (NO₃-N) در تیمارهای مختلف طی دوره آزمایش (حروف انگلیسی غیر مشترک نشان دهنده تفاوت معنی دار میانگین تیمارها با یکدیگر می باشند)

بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کرم نرئیس نقش مهمی را در کاهش مواد مغذی پساب در سیستم پرورش ترکیبی با فیل ماهی نشان می دهد. همچنین بر اساس اطلاعات بدست آمده در این بررسی نشان داد که طراحی چنین سیستمی می تواند باعث رشد کرم نرئیس گردد. روند رشد فیل ماهیان با افزایش تراکم همانطور که انتظار می رفت باعث اختلافاتی در بین تیمارها گردید به عنوان مثال تیمار NWF₃ که از بیشترین تراکم ماهی برخوردار بود کمترین ضریب رشد ویژه را به خود اختصاص داد. همچنین هیچگونه اختلافی بین تیمار NWF₁ و WF₁ که از تراکم یکسانی برخوردار بودند مشاهده نگردید. بیوماس کرم در تیمار NWF₂ (کرم تغذیه شده از پساب فیل ماهی با تراکم ۳-۴ کیلو گرم در مترمربع) به میزان ۲۶۵ گرم در متر مربع افزایش یافت که بیش از ۳ برابر بیوماس اولیه کرمها بود. Brown و همکاران (۲۰۱۱) میزان ضریب رشد ویژه کرم *N. virens* تغذیه شده از مدفوع ماهی

بیشترین قابلیت حذف مواد معلق آب (TSS) توسط سیستم پرورش ترکیبی ماهی و کرم نرئیس متعلق به تیمار NWF₃ به میزان ۸۹/۴۳ درصد، با وجود بالاترین تراکم از ماهی بود. کمترین کارایی حذف مواد معلق آب مربوط به تیمار WF₁ (۴۷/۵۹ درصد) بود. همچنین بیشترین قابلیت حذف میزان BOD₅ در دو تیمار NWF₂ و NWF₃ به ترتیب دارای ۸۴/۶۶ و ۷۷/۶ درصد بود و از نظر آماری اختلاف معنی داری بین آنها مشاهده نگردید ($P < 0/05$). کمترین میزان حذف BOD₅ مربوط به تیمار WF₁ (۳۲ درصد) بود که در سیستم از کرم نرئیس استفاده نگردید (شکل ۵).

هالیبوت را در یک دوره آزمایشی ۷۱ روزه ۳ درصد در روز بدست آوردند Honda و Kikuchi (۲۰۰۲). ضریب رشد ویژه کرم پرتار *Pereinereis nuntia vallata* تغذیه شده با مدفوع فلاندر را ۱/۶۶ درصد در روز تعیین نمودند. در این بررسی، بیشترین ضریب رشد ویژه کرم نرئیس تغذیه شده با پساب فیل ماهی بطور میانگین ۲/۸۴ درصد در روز در تیمار NWF_2 در یک دوره تقریباً ۸ هفته‌ای اندازه‌گیری شد که با یافته‌های Brown و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت. این موضوع ممکن است بدلیل مناسب بودن و عدم آلودگی محل زیست کرم‌های نرئیس بدلیل وجود مواد مغذی به میزان مورد نیاز آنها باشد.

نتایج درصد کاهش مواد مغذی پساب در میان تیمارها نشان داد که بیشترین قابلیت حذف مواد مغذی به ترتیب در فاکتورهای نیتريت، نیتروژن کل، فسفر کل و BOD_5 با مقادیر ۹۱، ۵۷، ۵۳ و ۴۶ درصد در تیمار NWF_2 مشاهده شد. کاهش میزان نیتريت و نیتروژن کل در مقایسه با سایر فاکتورها احتمالاً بدلیل رشد باکتریهای نیتریفیکاسیون می‌باشد که باعث می‌شود ترکیبات نیتروژن با سمیت بیشتر به ترکیبات با سمیت کمتری تبدیل گردد (Kunihiro et al., 2008).

میزان مواد معلق آب در خروجی تانک‌های کرم در تمام تیمارها بطور معنی‌داری کمتر از سطح ورودی آب بود ($p < 0/05$). تیمار NWF_2 بیشترین میزان حذف مواد معلق را در سیستم نشان داد. علاوه بر اینکه رسوبات شنی می‌تواند خود در کاهش TSS موثر باشد ولی با توجه به اختلافی که در میزان حذف این فاکتور در تیمارها وجود دارد می‌توان به نقش کرم نرئیس در کاهش میزان مواد معلق اشاره نمود. همچنین نتایج

آزمایش نشان داد که کارآیی بهینه در حذف پروتئین کل (TP) در تیمار NWF_2 مشاهده شد.

کارآیی هضم آمونیاک دفعی از متابولیسم پروتئین ماهی یکی از بهترین شاخص‌ها در ارزیابی کیفیت غذا می‌باشد. این موضوع اثرات میزان تولید پساب را در محیط طبیعی نشان می‌دهد. نتایج آزمایش‌های این بررسی نشان داد که تیمار NWF_2 کارآیی مناسبی را در حذف آمونیاک بازی نمود. این مسئله تا حدی ممکن است ناشی از افزایش فعالیت جمعیت باکتریهای نیتریفیکاسیون باشد.

برخی از مواد مغذی تولید شده حاصل از تولید ماهی می‌تواند به عنوان یک تولید ثانویه مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این مطالعه با نتایج Bischoff (۲۰۰۷) و Bischoff و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت بطوریکه آنها بیان داشتند *N. diversicolor* از برخی ضایعات به عنوان منبع غذای اولیه استفاده می‌کنند و رشد قابل ملاحظه‌ای را از تغذیه از ذرات خروجی به عنوان یک ماده مغذی با ارزش مانند اسیدهای چرب نشان می‌دهند. کرم نرئیس (*N. diversicolor*) یک گونه همه چیزخوار است و از منابع غذایی مختلفی می‌تواند تغذیه نماید (Rönn et al., 1988) که بطور عمده می‌توان به خوردن جلبکها یا فیلتراسیون مواد آلی معلق آب (Riisgard, 1994) اشاره نمود.

در مطالعه‌ای که توسط Kikuchi و Honda (۲۰۰۲) بر روی کرم پرتار *Perenereis vallata* انجام شد دریافتند که این کرم قادر است از مدفوع ماهیان *Paralichthys olivaceus* تغذیه و نصف نیتروژن هضم شده توسط ماهی را به بافت بدن کرم تبدیل نمایند. Batista و همکاران (۲۰۰۳) همچنین پیشنهاد کردند که مدفوع خارج شده از صدف *R. decussates*

دارای مواد آلی بوده و به عنوان یک بستر مناسب برای حضور و فعالیت باکتریها و پروتوزوآ که منبع غذایی خوبی برای *N. diversicolor* هستند می‌باشند.

نتایج تیمارهای NWF_1 و NWF_2 نشان داد که کیفیت آب سطح رسوب تاثیر زیادی در بازماندگی کرمها بازی می‌کند. میزان کاهش مواد مغذی پساب حاصل از پرورش فیل ماهی باید متناسب با تراکم آن باشد و کاهش میزان $14/9$ گرم مواد آلی در هر روز با تراکم 2000 کرم در متر مربع از نتایج بدست آمده در این مطالعه بود. این نتیجه تا حدودی با کاهش روزانه $33/2$ گرم مواد آلی با تراکم 8000 کرم نرئیس در متر مربع گزارش شده توسط Muller (۱۹۹۷) مطابقت داشت. پساب حاوی مواد آلی در این بررسی به عنوان یک جیره با کیفیت بالا توانست مورد استفاده قرار گیرد و به بیوماس کرم نرئیس تبدیل گردد و این موضوع می‌تواند یکی از راه حل پایدار برای رفع مشکل آلودگی مواد آلی موجود باشد (Garcia-Alonso et al., 2008).

Palmer (۲۰۱۰) به این نتیجه رسید که میزان زی-توده کرم‌های تولید شده در سیستم‌های PASFs (Polychaete Assisted Sand Filters) جهت تغذیه مولدین میگو و ماهی مناسب بوده و شواهد زیادی وجود دارد که سیستم‌های PASFs به مزایای دوگانه تصفیه فاضلاب جهت مدیریت زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری از طریق یک محصول ثانویه با ارزش به طور انحصاری با استفاده از مواد مغذی فضولات اشاره می‌کند.

بنابراین نتایج به دست آمده از فاکتورهای رشد و کاهش مواد مغذی پساب حاصل از پرورش فیل ماهی توسط کرم پرتار و همچنین دستیابی به یک محصول

ثانویه نشان داد که این بررسی از اهمیت زیادی برخوردار بود و باعث ارتقاء بهره‌وری سیستم گردید. وجود سیستم پرورش کرم نرئیس با استفاده از پساب پرورش فیل ماهی در تراکم $3-4$ کیلو گرم در متر مربع نه تنها باعث بیشترین میزان حذف مواد مغذی آن می‌گردد بلکه نقش مهمی را از نظر اقتصادی بدلیل عدم هزینه غذا برای تغذیه کرم نرئیس بازی می‌کند.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از حمایت‌های مالی پارک علم و فناوری استان گیلان و همچنین از راهنمایی‌های اساتید گروه شیلات دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، مسئولین و کارشناسان محترم موسسه تحقیقات بین‌المللی تاسماهیان دریای خزر و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

منابع

۱. پورعلی، ح. ر. و محسنی، م. ۱۳۸۶. بررسی کمی و کیفی تراکم، تغذیه و آب در پرورش ماهیان خاویاری. فصلنامه علمی، پژوهشی و آموزشی آبیان، ۵(۱۱)، ۴۸-۳۷.
۲. صادقی راد، م.، شناور ماسوله، ع.، جلیل پور، ج.، ارشد، ع. و پورعلی، ح. ر. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی آب در مراحل مختلف (انکوباسیون، نیرو و استخر) کارگاه تکثیر و پرورش بر میزان بقای بچه ماهیان خاویاری. نشریه توسعه آبی‌پروری، ۷(۲)، ۷۲-۶۱.
۳. هرسیج، م. و آدینه، ح. ۱۳۹۶. امکان‌سنجی پرورش ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)

13. Folke, C., Kautsky, N., Berg, H., Jansson, A. Troell, M., 1998. The ecological footprint concept for sustainable seafood production: a review. *Ecological Applications*, 8, 63–71.
14. García-Alonso, J., Müller, C.T., Hardege, J.D., 2008. Influence of food regimes and seasonality on fatty acid composition in the ragworm. *Aquatic Biology*, 4, 7–13.
15. Henriksen, K., Rasmussen, M.B., Jensen A., 1983. Effect of bioturbation on microbial nitrogen transformations in the sediment and fluxes of ammonium and nitrate to the overlaying water. *Ecological Bulletins*, 35, 193–205.
16. Honda, H. Kikuch, K., 2002. Nitrogen budget of polychaete *P. nuntia vallata* fed on the faeces of Japanese flounder. *Fisheries Science*, 68, 1304–1308.
17. Hutchings, P., 1998. Biodiversity and functioning of polychaetes in benthic sediments. *Biodiversity and Conservation*, 7, 1133–1145.
18. Kunihiro, T., Miyazaki, T., Uramoto, Y., Kinoshita, K., Inoue, A., Tamaki, S., Hama, D., Tsutsumi, H., Ohwada, K., 2008. The succession of microbial community in the organic rich fish-farm ediment during bioremediation by introducing artificially mass-cultured colonies of a small polychaete *Capitella* sp. I. *Marine Pollution Bulltein*, 57, 68–77.
19. Lau, P.S., Tam, N.F.Y., Wong, Y.S., 1998. Carrageenan as a matrix for immobilizing microalgal cells for wastewater nutrients removal. Springer Verlag and Landes Bioscience, Berlin, Germany, 145-163.
20. Muller, C. T., 1997 Production of High Quality Life Diet from Aquaculture derived Organic Waste. Scientific Report, Project FAIR GT96 0603, 45p.
21. Palmer, P.J., 2010. Polychaete-assisted sand filters. *Aquaculture*, 306, 369–377.
22. Riisgard, H.U., 1994. Filter-feeding in the polychaete *N. diversicolor*: a review. *Aquatic Ecology*, 28, 453–458.
23. Rönn C., Bonsdorff, E., Nelson, W.G., 1988. Predation as a mechanism of interference within infauna in shallow brackish water soft bottoms; experiments with an infauna predator, *N.* در پساب تصفیه شده از ضایعات کشتارگاه طیور: بررسی کیفیت آب، عملکرد رشد و ترکیبات بدن. نشریه توسعه آبرزی پروری، ۱۱(۳)، ۱۳۵–۱۲۳.
4. American Public Health Association (APHA), 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. APHA, Washington, DC.
5. Batista, F.M., Costa, P.F.E., Matias, D., Joaquim, S., Massapina, C., Passos, A.M., Pousao Ferreira, P., Cancela da Fonseca, L., 2003. Preliminary results on the growth and survival of the polychaete *N. diversicolor* (O. F. Müller, 1776), when fed with faeces from the carpet shell clam *Ruditapes decussatus* (L., 1758). *Boletín. Instituto Español de Oceanografía*, 19, 443–446.
6. Bischoff, A.A., 2007. Solid Waste Reduction of Closed Recirculated Aquaculture Systems by Secondary Culture of Detritivorous Organisms. *PhD-Thesis at the Leibniz Institute of Marine Sciences, Kiel, Germany*, 179 pp.
7. Bischoff, A.A., Fink, P., Waller, U., 2009. The fatty acid composition of *N. diversicolor* cultured in an integrated recirculated system: possible implications for aquaculture. *Aquaculture*, 296, 271–276.
8. Brown, N., Eddy, S. Plaud, S., 2011. Utilization of waste from a marine recirculating fish culture system as a feed source for the polychaete worm *N. virens*. *Aquaculture*, 322, 178–183.
9. Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P. Verstraete, W., 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270, 1–14.
10. Danish Standard Method D.S., 1975. Water analysis – determination of ammonia-nitrogen. DS 224:1975, 8pp.
11. Diniz, M.T., 1992. Aspects of the potential of *Solea senegalensis* for aquaculture. *Journal of Aquaculture and Fisheries Managment*, 23:515–520.
12. FAO, 2012. Yearbooks of fishery statistics. Downloaded from www.fao.org on December 10.

26. Tsutsumi H., Inoue T., 1996. Benthic environment and macrobenthic communities in a cove with organically enriched bottom sediment due to fish farming for two decades. *Benthos Research*, 50, 39-49.
27. Wu, R.S.S., 1995. The environmental impact of marine fish culture: Towards a sustainable future. *Marine Pollution Bulletin*, 31, 159-166.
- diversicolor* O. F. Müller. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 116, 143-157.
24. Shpigel M., Neori A., Popper D.M., Gordin H., 1993. A proposed model for "environmental clean" land-based culture of fish, bivalves and seaweeds. *Aquaculture*, 117, 115-128.
25. Tovar, A., Moreno, C., Manuel-Vez, M. P., García-Vargas, M., 2000. Environmental impacts of intensive aquaculture in marine waters. *Water Research*, 34, 334-342.