

قابلیت تصفیه گیاه آبرزی چنگال آبی (*Ceratophyllum demersum*) به عنوان فیلتر زیستی در سیستم مدار بسته و اثرات آن بر روی شاخص های رشد ماهیان سیکلاید

احسان اسدی شریف^{*} ۱، جاوید ایمانپور نمین^۲، زهره رمضانپور^۳

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۱۳۳۵۳۵۱۶

۲- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران، صندوق پستی: ۱۱۴۴

۳- گروه اکولوژی، موسسه تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری دکتر دادمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران،

صندوق پستی: ۴۱۶۳۵-۳۴۶۴

تاریخ دریافت: ۱۴ مهر ۱۳۹۶

تاریخ پذیرش: ۱۷ بهمن ۱۳۹۶

چکیده

قابلیت تصفیه گیاه آبرزی چنگال آبی (*Ceratophyllum demersum*) با فیلترهای مصنوعی تعبیه شده در سیستم مدار بسته پرورش ماهیان زینتی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. این تحقیق به مدت سه ماه در کارگاه تکثیر و پرورش ماهیان زینتی هنرستان کشاورزی جنت رشت طراحی و اجرا شد. در ابتدا روند تشکیل ترکیبات نیتروژنی، در سیستم مدار بسته مجهز به فیلترهای مصنوعی مورد ارزیابی قرار گرفت. گیاه چنگال آبی از رودخانه سیاه درویشان جمع آوری و به سالن پرورش ماهی منتقل شد. آداپتاسیون گیاه با شرایط سالن تکثیر و پرورش ماهی به مدت یک ماه و با استفاده از آب رودخانه انجام شد. در ابتدای آزمایش توده زنده تر گیاه اندازه گیری شد، سپس تعداد ۶۰۰ قطعه از ماهیان سیکلاید (اسکار، آنجل، سیچلاید زیر، سیچلاید بورلی) تهیه و در قالب سه تیمار (به همراه سه تکرار) در ۱۲ عدد آکواریوم (۱۶۰ لیتری) به طور کاملاً تصادفی توزیع شدند. در انتهای دوره به منظور بررسی روند تغییرات آمونیاک (NH_3)، نیتريت (NO_2^-) و نیترات (NO_3^-)، نمونه آب از خروجی ها و ورودی بایوفیلتر گرفته و جهت آنالیز مورد بررسی قرار گرفت. شاخص های رشد و بقای این ماهیان نیز در انتهای دوره مورد ارزیابی قرار گرفت. تغییرات ترکیبات نیتروژنی هنگام استفاده از گیاه آبرزی چنگال آبی به عنوان بایوفیلتر نشان داد که این گیاه آبرزی توانایی جذب این مقدار از ترکیبات نیتروژنی را ندارد، همچنین شاخص های رشد و بقا نیز هنگام استفاده از گیاه آبرزی چنگال آبی در مقایسه با تیمار فیلترهای مصنوعی از کاهش معنی داری برخوردار بودند ($P > 0.05$).

کلمات کلیدی: سیستم مدار بسته، چنگال آبی، *Ceratophyllum demersum*، تصفیه زیستی.

مقدمه

اصطلاح تصفیه زیستی به تکنیک‌های تصفیه که در آن از موجودات زنده ریز جهت حذف یک ماده از محلول مایع استفاده می‌شود اطلاق می‌شود. این تعریف شامل سیستم‌هایی که از جلبک و گیاهان سبز به منظور تصفیه آب استفاده می‌کنند نیز است. این سیستم‌ها معمولاً به سیستم‌های رشد گیاهان در آب‌های مغذی (هیدروپونیک) نیز شناخته می‌شوند (Lawson, 1994). آنیون‌های عمده در سیستم‌های پرورشی آبزیان ترکیبات نیتروژن دار می‌باشند. آمونیاک به عنوان محصول نهایی تجزیه‌ی پروتئین‌ها توسط ماهی‌ها به محیط آب دفع می‌شود (Campbell, 1973). آمونیاک با آب ترکیب شده و در حالت تعادل با یون آمونیوم یا آمونیاک یونیزه شده (NH_4^+) قرار می‌گیرد. غلظت نسبی آمونیاک به عملکرد pH آب، شوری و دمای آب بستگی دارد (Pillay and Kutty, 2005). نیتريت نیز یک ماده سمی و خطرناک است که در اثر اکسیداسیون آمونیاک به وسیله‌ی باکتری *Nitrosomonas* ایجاد می‌شود. نیترات (NO_3) محصول نهایی فرآیند نیتریفیکاسیون است. این ترکیب نیتروژنی در اثر اکسیداسیون نیتريت به وسیله‌ی باکتری *Nitrobacter* در منابع آبی ایجاد می‌شود. نیترات در غلظت‌های پایین برای ماهی کشنده نیست ولی در شرایطی مثل سیستم مدار بسته در صورتی که غلظت آن خیلی افزایش یابد (با توجه به گونه این مقدار متفاوت است) خطرناک است و باید به وسیله‌ی آب تازه از محیط خارج شود (جعفری باری، ۱۳۸۰).

گیاه علف شاخی که به نام چنگال آبی (*Ceratophyllum demersum*) هم شناخته می‌شود، از گیاهان آبرزی مهم و غالب رودخانه‌ها و کانال‌های ایران

است (بخشی خانیکی، ۱۳۸۶). این گیاه از راسته‌ی Nymphaeales و خانواده‌ی Ceratophyllaceae است که در آب‌های کم عمق، گل آلود، تیره و کم سرعت در شدت‌های نوری پایین می‌روید (APHA, 2005). *Ceratophyllum demersum* یک گیاه کاملاً غوطه‌ور در آب است (Keskinan, 2004). این گیاه همچنین توانایی جذب ترکیبات نیتروژنی را نیز دارد (Walstad, 2003). سیکلایدها ماهیانی از خانواده‌ی Cichlidae و از راسته‌ی Perciformes و زیر راسته‌ی Labroidei می‌باشند. سیکلایدها دارای رشد سریعی در برخی از دریاچه‌ها مانند دریاچه‌ی تانگانیا، مالاوی، ویکتوریا و ادوارد می‌باشند اگرچه از لحاظ شکل ظاهری گونه‌های این دریاچه‌ها باهم تفاوت دارند ولی از یک خانواده می‌باشند (Salzburger et al., 2005).

با وجود اینکه مطالعات محدودی به منظور بررسی قابلیت تصفیه زیستی گیاه آبرزی چنگال آبی صورت گرفته است و با توجه به اهمیت پالایش زیستی در سیستم‌های متراکم، در مطالعه حاضر سعی بر آن است که قابلیت تصفیه ترکیبات نیتروژنی تولیدی ناشی از فضولات ماهی توسط این گیاه آبرزی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

روش‌های نمونه برداری و انتقال گیاه

چنگال آبی

واريته گیاه *Ceratophyllum demersum* با کمک ساچوک‌های مخصوص جمع آوری شد. سپس در داخل کیسه‌های دوجداره قرار داده شده و با آب رودخانه به کارگاه ماهیان زینتی هنرستان کشاورزی جنت رشت منتقل شد. در هنگام نمونه برداری

طراحی آزمایش و سیستم پرورشی

در ابتدای دوره آزمایش، ماهیان به مدت دو هفته با شرایط آکواریوم‌ها سازگار شدند. پس از طی دوره آدپتاسیون ۶۰۰ قطعه ماهی پیش مولد سیکلاید به‌طور کاملاً تصادفی در ۱۲ آکواریوم ۱۶۰ لیتری با میانگین وزنی ۲۳/۶۶ گرم توزیع شدند. جاگذاری گیاه آبزی چنگال آبی به‌عنوان بیوفیلتر در سیستم مدار بسته به مدت یک ماه صورت گرفت. تغذیه ماهیان موجود در آکواریوم توسط غذای کنسانتره شرکت اسکرتینگ (اندازه ۰٫۸) در دو نوبت ۸ صبح و ۱۶ بعدازظهر تا حد سیری و به‌صورت دستی صورت گرفت. در انتهای هر ده روز (در هر دوره سه مرتبه)، نمونه‌برداری از آب در قسمت خروجی سیستم صورت گرفته و جهت اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی مانند آمونیاک، نیتريت، نترات با کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل Konica-Minolta CM-700d) به آزمایشگاه منتقل شد.

نحوه نمونه‌برداری از آب سیستم مدار بسته

برابر طبق دستورالعمل آزمایشگاه مرجع، در انتهای هر دوره نمونه آب در دو بطری ۱/۵ لیتری و با اضافه کردن ماده شیمیایی فیکس کننده (اسیدسولفوریک) به میزان 1CC به یکی از بطری‌ها صورت گرفت. سپس جهت اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی به آزمایشگاه آنالیز آب منتقل شد.

کاربرد گیاه آبزی چنگال آبی در سیستم

مدار بسته

به‌منظور ضدعفونی گیاه آبزی *Ceratophyllum demersum* از پرمنگنات پتاسیم استفاده شد، سپس گیاه در آکواریوم ۱۶۰ لیتری قرار گرفت. در طول فرآیند تحقیق نوردهی توسط لامپ فلورسنت خطی

پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب مانند: دما و pH آب نیز اندازه‌گیری شد.

آدپتاسیون گیاه

به‌منظور سازگار کردن گیاه چنگال آبی با شرایط دمایی سالن تکثیر و پرورش ماهیان زینتی، به مدت یک ماه در دمای کارگاه بدون تعویض آب نگهداری شدند. در طول مدت نگهداری گیاه آبزی، برای تأمین نور از لامپ‌های فلورسنت خطی (مدل T₅) استفاده شد. همچنین برای تأمین نیاز غذایی گیاه در طول این مدت از کودهای شیمیایی مایع بازاری (مارک Tetra) استفاده شد. پس از یک ماه به‌منظور جلوگیری از آلودگی و پژمرده شدن حدود ۲۰٪ آب تعویض شد. این کار نیز به مدت یک هفته صورت گرفت تا آب رودخانه به‌طور کامل با آب سالن تکثیر و پرورش ماهیان زینتی تعویض شود. پس از انجام مراحل آدپتاسیون، وزن‌تر گیاه اندازه‌گیری شده سپس به‌وسیله‌ی مواد ضدعفونی‌کننده پرمنگنات پتاسیم ضدعفونی شدند.

تعبیه فیلترهای مصنوعی در داخل هر

آکواریوم

به‌منظور مقایسه کنترل نوسانات ترکیبات نیتروژنی با تیمار حاوی گیاه چنگال آبی، فیلترهایی مصنوعی از ابر و سنگ هوا در هر آکواریوم تعبیه شد. این نوع از فیلترها علاوه بر فیلتراسیون آکواریوم‌ها، با افزایش سطح، زمینه فعالیت باکتری‌های نیتریفیکانت را فراهم کرده و فرآیند نیتریفیکاسیون را در هر آکواریوم تسهیل می‌بخشند.

مدل T5 صورت گرفت. در ابتدای آزمایش به منظور تأمین مواد مغذی اولیه گیاه از کودهای شیمیایی مایع شرکت Tetra استفاده شد. به منظور کاهش فشار آب ورودی به داخل آکواریوم گیاه آبی، ورودی آب آکواریوم به صورت قطره ای صورت پذیرفت. در پایان هر دوره وزن تر گیاه محاسبه شده و به منظور اندازه گیری پارامترهای شیمیایی به آزمایشگاه آنالیز شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان منتقل شد.

مدل T5 صورت گرفت. در ابتدای آزمایش به منظور تأمین مواد مغذی اولیه گیاه از کودهای شیمیایی مایع شرکت Tetra استفاده شد. به منظور کاهش فشار آب ورودی به داخل آکواریوم گیاه آبی، ورودی آب آکواریوم به صورت قطره ای صورت پذیرفت. در پایان هر دوره وزن تر گیاه محاسبه شده و به منظور اندازه گیری پارامترهای شیمیایی به آزمایشگاه آنالیز شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان منتقل شد.

میزان و نحوه گردش آب در سیستم

مدار بسته

میزان حجم تانک = ۱۸۰ لیتر، میزان آبیگری = ۱۶۰ لیتر
کل حجم آبی = ۲۰۰۰ لیتر
میزان آب ورودی = ۳ لیتر بر ثانیه
میزان آبگردشی طی ۲۴ ساعت: $24 \times 3600 = 86400$
میزان آب تازه اضافه شده به سیستم به صورت روزانه ۳۰۰ لیتر

سنجش شاخص تولید بیومس گیاه آبی چنگال آبی

این شاخص به صورت زیر محاسبه گردید:

$$Pr = (FW_1 - FW_2) / \Delta t \quad (\text{رابطه ۱})$$

که FW_1 و FW_2 وزن تر خالص گیاه (گرم) در زمان های ۱ و ۲ (روز) و Δt اختلاف بین زمان های ۱ و ۲ است (Schroder et al., 2007).

زیست سنجی ماهیان

زیست سنجی ماهیان در پایان هر دوره با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ به صورت انفرادی انجام شد. اندازه گیری پارامترهای رشد و مقایسه بین تیمارها، شاخص هایی مانند وزن نهایی (FW)، درصد رشد نسبی

(RGR) با استفاده از فرمول های زیر مورد محاسبه قرار گرفت:

(رابطه ۲)

$$RGR = 100 \times \left[\frac{\text{افزایش وزن (گرم)}}{\text{وزن اولیه (گرم)}} \right]$$

(رابطه ۳)

$$[\text{تعداد اولیه ماهیان} / \text{تعداد نهایی ماهیان}] \times 100 =$$

$$\text{Survival rate} (\%)$$

روش های آماری

برای تعیین اختلاف معنی داری در کل تیمارهای آزمایشی در مورد شاخص های رشد ماهیان، از آنالیز واریانس یک طرفه ANOVA One way استفاده شد. در صورت معنی دار بودن تفاوت ها نیز از آزمون توکی برای مقایسه میانگین ها در تیمارهای مختلف استفاده شد. در مورد داده های غیر نرمال آزمون کروسکال والیس (Kruskal-Wallis) مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ و همچنین به منظور ترسیم نمودارهای ترکیبات نیتروژنی از نرم افزار Excel 2013 به کار گرفته شد.

نتایج

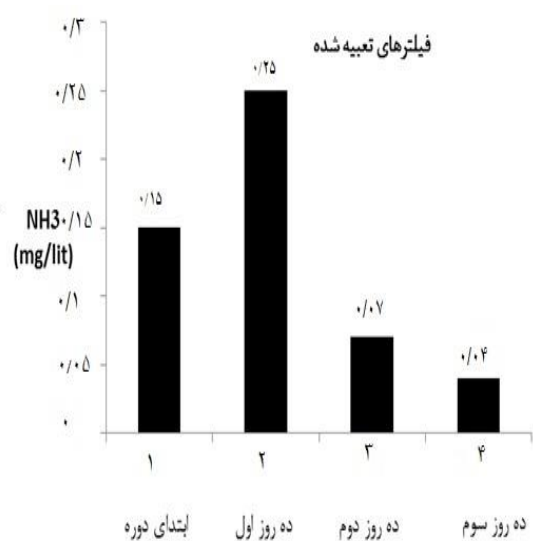
نتایج حاصل از کاربرد گیاه آبی چنگال

آبی در سیستم مدار بسته

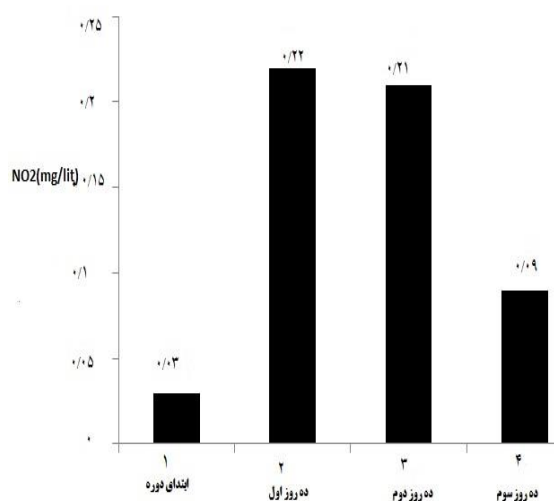
نتایج حاصل از سنجش میزان جذب آمونیاک، نیتريت، نیترات در پایان دوره در شکل های ۱، ۲ و ۳ آمده است. نتایج حاصل از کاربرد گیاه چنگال آبی در طول ۳۰ روز نشان داد که غلظت آمونیاک غیریونیزه در طول یک ماه آزمایش روندی صعودی داشته به طوری که در پایان این دوره این میزان به ۰/۸ میلی گرم در لیتر رسیده است. غلظت نیتريت نیز در

نتایج حاصل از کاربرد فیلترها در سیستم مدار بسته

نتایج حاصل از سنجش میزان جذب آمونیاک، نیتريت، نترات در پایان دوره در شکل های ۴، ۵ و ۶ آمده است. این نتایج نشان می دهد میزان ترکیبات نیتروژنی در انتهای دوره پس از فعال شدن باکتری های نیتریفایر روندی نزولی داشته است.



شکل ۴: روند تغییرات غلظت آمونیاک (mg/lit) با استفاده از فیلترهای تعبیه شده طی ۳۰ روز آزمایش



شکل ۵: روند تغییرات غلظت نیتريت (mg/lit) با استفاده از فیلترهای تعبیه شده طی ۳۰ روز آزمایش

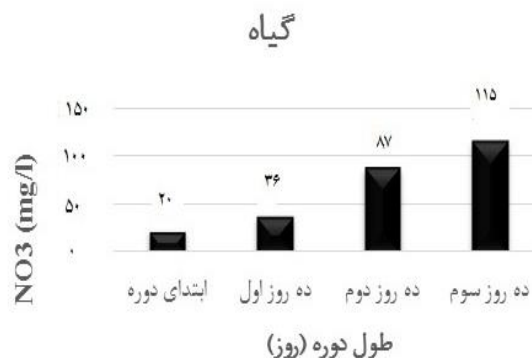
طول یک ماه روندی افزایشی داشته و در انتهای دوره به ۱/۲۱ میلی گرم در لیتر رسیده است. در مورد غلظت نترات، روند صعودی داشته و در پایان دوره غلظت آن به ۱۱۵ میلی گرم در لیتر رسیده است. نتایج حاصل از سنجش شاخص تولید بایومس گیاه آبزی نشان داد که رشد این گیاه از ۵۳ گرم در لیتر به ۵۰/۵ گرم در لیتر کاهش یافته است.



شکل ۱: روند تغییرات غلظت آمونیاک (mg/lit) با استفاده از گیاه چنگال آبی طی ۳۰ روز آزمایش



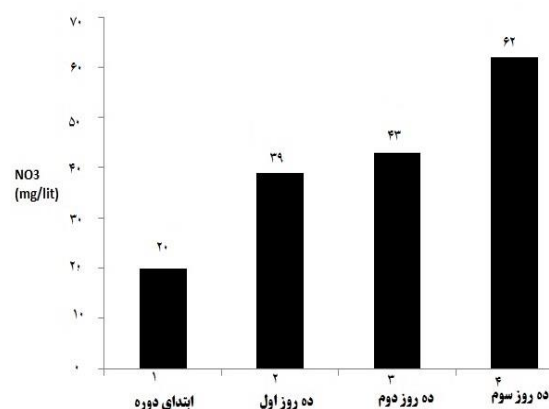
شکل ۲: روند تغییرات غلظت نیتريت (mg/lit) با استفاده از گیاه چنگال آبی طی ۳۰ روز آزمایش



شکل ۳: روند تغییرات غلظت نترات (mg/lit) با استفاده از گیاه چنگال آبی طی ۳۰ روز آزمایش

نتایج حاصل از شاخص‌های رشد

نتایج حاصل از شاخص‌های رشد و بقا در جدول ۱ آمده است. این نتایج نشان داد که پارامترهای رشد در هنگام استفاده از گیاه آبرزی چنگال آبی در سیستم مدار بسته نسبت به فیلترهای مخصوص کاهش معنی‌داری داشته است ($P < 0.05$).



شکل ۶: روند تغییرات غلظت نیترات (mg/lit) با استفاده از فیلترهای تعبیه شده طی ۳۰ روز آزمایش

جدول ۱: عملکرد رشد و بقا در تیمارهای مختلف

ماهی	پارامترهای رشد	تیمار گیاه	تیمار فیلترهای مصنوعی
اسکار	وزن اولیه (گرم)	۲۳/۱۳±۰/۳۰	۲۳/۲۸±۰/۳۰
	وزن نهایی (گرم)	۲۸/۲۱±۰/۸۰	۳۶/۲۱±۰/۷۴
	درصد رشد نسبی (%)	^a ۲۱/۹۱±۰/۸۰	^b ۰/۳۳±۵۵/۵۴
	بازماندگی (%)	۳۰	۹۱/۶۶
آنجل	وزن اولیه (گرم)	۱۳/۹۸±۰/۹۸	۰/۱۷±۱۴/۱۳
	وزن نهایی (گرم)	۱۹/۱۳±۰/۲۰ ^a	^b ۰/۳۷±۲۴/۳۳
	درصد رشد نسبی (%)	۳۶/۸۳±۰/۱۷ ^a	^b ۰/۱۶±۷۱/۳۲
	بازماندگی (%)	۲۵	۸۳
سیکلاید زیر	وزن اولیه (گرم)	۱۷/۷±۰/۱۴	۰/۲۱±۱۷/۳۰
	وزن نهایی (گرم)	۲۳/۶۳±۰/۲۹ ^a	^b ۰/۳۳±۲۸/۲۳
	درصد رشد نسبی (%)	۳۳/۵۱±۰/۴۸ ^a	^b ۰/۴۸±۶۳/۱۷
	بازماندگی (%)	۸۶	۱۰۰
سیکلاید بورلی	وزن اولیه (گرم)	۱۷/۶۳±۰/۲۳	۰/۱۲±۱۷/۴۳
	وزن نهایی (گرم)	۲۴/۵۳±۰/۳۳ ^a	^b ۰/۱۷±۲۹/۳۰
	درصد رشد نسبی (%)	۳۹/۱۳±۰/۴۲ ^a	^b ۰/۲۳±۶۸/۱۰
	بازماندگی (%)	۸۴	۱۰۰

وجود حروف متفاوت بر روی اعداد در هر ردیف، نشانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است ($P < 0.05$).

بحث

غلظت ترکیبات نیتروژنی آمونیاک، نیتريت و نیترات در انتهای هر دوره مورد ارزیابی قرار گرفت. بر طبق گزارش‌های Timmons و همکاران (۲۰۰۲) روند فعالیت باکتری‌ها در بایوفیلتر دارای چند مرحله است. در ابتدا غلظت آمونیاک کل (TAN) افزایش می‌یابد، در صورتی که فعالیت باکتری‌های نیتریفایر افزایش یابد، نیتريت (NO_2) افزایش می‌یابد. سپس غلظت نیترات افزایش یافته، در حالی که آمونیاک کل (TAN) و نیتريت (NO_2) روند کاهشی به خود می‌گیرند. این روند نیازمند زمان است. در هنگام استفاده از گیاه چنگال آبی، این روند دچار مشکل شد. به گونه‌ای که میزان آمونیاک در ابتدای دوره 0.15 ± 0.03 میلی گرم در لیتر بود. سپس در انتهای دوره دوم روند صعودی داشته و به 0.5 میلی گرم در لیتر رسید. روند صعودی ادامه داشته به گونه‌ای که در انتهای دوره سوم به 0.8 میلی گرم در لیتر رسید. غلظت نیتريت نیز در ابتدای دوره 0.03 میلی گرم در لیتر بود. سپس روند صعودی ادامه داشته به گونه‌ای که در انتهای دوره دوم به 0.53 میلی گرم در لیتر رسید و روند صعودی ادامه داشته به گونه‌ای که در پایان این دوره به 1.21 میلی گرم در لیتر افزایش یافت. در ارتباط با نیترات نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در ابتدای دوره غلظت این ترکیب نیتروژنی 20 میلی گرم در لیتر بود، غلظت نیترات نیز روند صعودی داشته و در انتهای دوره دوم به 87 میلی گرم در لیتر رسید. با گذشت زمان و در انتهای دوره سوم به روند صعودی خود ادامه داده و غلظت آن به 115 میلی گرم در لیتر رسید. مطالعات در مورد تصفیه زیستی در سیستم‌های آکواپونیک گیاهان بیشتر بر روی جذب ترکیب نیتروژنی نیترات صورت گرفته است.

Coleman و همکاران (۲۰۰۱)، از دو گیاه *Typha* *subutata* و *Zizaniopsis bonaniensis* به منظور تصفیه‌ی آب شهری در سیستم آبخیز استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان آمونیاک 39 تا 56% افزایش یافت، در صورتی که میزان نیترات به $59/6$ تا $90/4\%$ کاهش یافت. میزان جذب نیترات در گیاه *Typha* بیشتر از *Zizaniopsis* بود. با توجه به اینکه گیاه چنگال آبی فاقد ریشه است و از آنجایی که ریشه‌ی گیاهان مکان مناسبی برای استقرار باکتری‌های نیتریفیکانت به شمار می‌آید، چنین به نظر می‌رسد که بخش کوچکی از آمونیاک توسط این باکتری‌ها به نیترات تبدیل شده باشند. طبیعتاً بخش کوچکی از این آمونیاک نیز توسط گیاه جذب شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که با کاربرد گیاه چنگال آبی مقداری زیادی از آمونیاک در سیستم باقی مانده است.

لذا به دلیل فرآیند نیتریفیکاسیون در سیستم، این آمونیاک به سرعت به نیترات تبدیل شده است. با این حال گیاه توانایی جذب این مقدار از نیترات را نداشته و فرآیند جذب و کاهش نیترات با مشکل مواجه بود. البته تجزیه مواد دفعی ماهیان در قسمت‌های دیگر سیستم نیز صورت می‌گیرد. چراکه تجزیه‌ی مواد آلی ته‌نشین شده در بخش‌های مختلف یا گرفتار شده در بیوفیلتر، یکی از دلایل اصلی تولید نیترات در آب یک سیستم می‌باشند. در آزمایشی مشخص شد که 39% از نیترات تولیدی در یک بایوفیلتر ناشی از تجزیه مواد آلی گرفتار شده در این بخش است و مربوط به اکسیداسیون آمونیاک ترش‌چی نیست (Skolstrup, 1998). البته میزان نیترات موجود در سیستم علاوه بر پدیده نیتریفیکاسیون به عوامل مختلفی بستگی دارد. برخی اختلافات در نتایج به دست آمده در تحقیقات مختلف را

کاهش پتانسیل رشد می شود
(Vijayan et al., 1990; Vanweerd and Komen.,)
(1998).

سپاسگزاری

در اینجا بر خود لازم می دانیم از زحمات کلیه
کسانی که مارا در انجام این تحقیق یاری نمودند
سپاسگزاری نماییم.

منابع

۱. بخشی خانیکی، غ. ۱۳۸۶. گیاهان آبی (رشته علوم کشاورزی). انتشارات دانشگاه پیام نور. ۱۸۰ صفحه.
۲. جعفری باری، م. ۱۳۸۰. اصول مهندسی آبیان. معاونت تکثیر و پرورش آبیان-اداره کل آموزش و ترویج. ۵۰۴ صفحه.
3. APHA. 2005. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20th Ed., Washington DC.
4. Ayyasamy, P.M., Rajakumar, S., Sathishkumar, M., Swaminatan, K., Shanthi, k., Lakshmanaperumalsamy, P., and Lee, S. 2009. "Nitrate removal from synthetic medium and groundwater with aquatic macrophytes." *Desalination*, 242, 286-296.
5. Campbell, J. W. 1973. Nitrogen excretion. *Comparative animal physiology*, 1, 279-316.
6. Coleman, J., Hench, K., Garbutt, K., Sexstone A., Bissonnette, G., and Skousen, J. 2001. "Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands." *Water, Air, Soil Pollution*, 128 (3-4), 283-295.
7. Keskinan, O., Goksu, M. Z. L., Basibuyuk, M., & Forster, C.F. 2004. Heavy metal adsorption properties of a

با ترکیب کود مصرفی، نوع و اندازه ماهی، تراکم ماهی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب مصرفی مرتبط دانسته اند (Palanivelu et al., 2005; Saha et al., 2002).

اگرچه این حجم از گیاه چنگال آبی توانایی جذب ترکیبات نیتروژنی با غلظت بالا را نداشت ولی وجود نیترات در محیط کشت از شرایط اصلی برای رشد این گیاه محسوب می شود، با این وجود رشد گیاه در این تیمار بسیار ناچیز بوده، در واقع می توان چنین استنباط کرد که حضور ترکیبات نیتروژنی بیش از اندازه سبب کاهش رشد این گیاه می گردد. Ayyasamy و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند که در غلظت های بالای نیترات، توانایی جذب گیاه چنگال آبی به شدت کاهش می یابد و در بعضی غلظت ها این مقدار به صفر می رسد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

هنگام کاربرد فیلترهای تعبیه شده در هر آکواریوم ترکیبات نیتروژنی روند نزولی را طی کردند. دلیل این امر فعال شدن باکتری های نیتروزوموناس و نیتروباکتر بر سطوح این فیلترها است؛ بنابراین با کمک باکتری های نیتروزوموناس آمونیاک ناشی از فضولات ماهی به نیتريت تبدیل شده و با کمک نیتروباکترها، این ترکیب نیتروژنی سمی به نیترات تبدیل شد.

نتایج این تحقیق نشان داد که هنگام کاربرد گیاه چنگال آبی، ماهیان از رشد و بقای مناسبی برخوردار نبودند. آزمایش های مختلف نشان می دهد بالا بودن ترکیبات نیتروژنی حتی در حد کم برای ماهیان استرس زا است (Person – Le Ruyet et al., 1998)، عوامل استرس زا سبب افزایش نیازهای متابولیک می شود، تحت چنین شرایطی جذب غذا کاهش یافته و متعاقباً تقاضا برای انرژی افزایش می یابد که منجر به

15. Schroder, P., J. Navarro-Avino, H. Azaizah, A. G. Goldhirsh, S. DiGregorio, T. Komives, G. Langergraber, A. Lenz, E. Maestri, A. R. Memon, A. Ranalli, L. Sebastiani, S. Smrcek, T. Vanek, S. Vuilleumier and F. Wissing. 2007. Using pHytoremediation technologies to upgrade waste water treatment in Europe. *Environmental Science and Pollution Research*. 14, 490-497.
16. Skolstrup, J., Nielsen, P. H., Frier, J. O., and Mclean, E. 1998. Performance characteristics of fluidized bed biofilters in a novel laboratory-scale recirculation system for rainbow trout: nitrification rates, oxygen consumption and sludge collection. *Aquacultural Engineering*, 18, 265-76.
17. Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T. and Vinci, B.J. 2002. *Recirculating Aquaculture Systems*, 2nd Edition. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, Publication. 769 pages.
18. Vanweerd, J.H. and Komen J. 1998. The effects of chronic stress on growth in fish: a critical appraisal. *Comparative Biochemistry and Physiology* 120, 107-112.
19. Vijayan, M.M., Ballantine J.S. and Leatherland J.F. 1990. High stocking density alters the energy metabolism of brook charr, *Salvelinus fontinalis*. *Aquaculture* 88, 371-381.
20. Walstad, D. L. 2003. *Ecology of the planted aquarium*. Echinodorus publishing. 205 pages.
- submerged aquatic plant (*Ceratophyllum demersum*). *Bioresource Technology*, 92(2).
8. Lawson, T.B., 1995. *Fundamentals of Aquaculture Engineering*. Chapman and Hall, New York
9. Noga, E.J. 2000. *Fish disease, diagnosis and treatment*. Iowa state university press. Iowa USA. pp, 367.
10. Palanivelu, V., Vijayavel, K., Ezhilarasibalasubramanian, S., Balasubramanian, M. P. 2005. Impact of fertilizer (urea) on oxygen consumption and feeding energetics in the fresh water fish *Oreochromis mossambicus*. *Environmental toxicology and P Pharmacology*, 19, 351-355.
11. Person-Le Ruyet, J. Boeuf, G. 1998. Ammonia nitrogen, a potential poison in fish farming: the turbot case. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 350-351, 393-412.
12. Pillay, T.V.R. and Kutty, M.N. 2005. *Aquaculture, Principles and Practices*, 2nd Edition. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK. 630 p.
13. Saha, N., Kharbuli, Z. Y., Bhattacharjee, A., Goswami, C., Haussinger, D. 2002. Effect of alkalinity (pH 10) on ureogenesis in the air-breathing walking catfish, *Clarias batrachus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 132, 353-64.
14. Salzburger W., Mack T., Verheyen E., Meyer A. 2005. Out of Tanganyika: Genesis, explosive speciation, key-innovations and pHylogeographHy of the haplochromine cichlid fishes. *BMC Evolutionary Biology* 5 (17): 1-15.