طراحي و بررسي عملكرد كشت توام ماهي تيلاپيا (*Oreochromis* sp.) وكاهو (*Lactuca sativa* var *longifolia*) در يك سازگان مدار بسته

غلامرضا رفيعي[۱] محمد صالح كامارودين[۲] حميد فرحمند[۳]

چكيده

در اين آزمايش يك سازگان مدار بسته براي پرورش توام ماهي تيلاپيا و كاهو طراحي شد. در اين طراحي سعي شد كه بخشي براي پرورش گياه و بخش‌هايي براي عملكرد باكتري‌هاي هوازي و غير هوازي در محيط پرورش در كنار يكديگر ايجاد شود. سازگان طراحي‌شده از نظر توليد ماهي و گياه و تغييرات وضعيت كيفي آب محيط پرورش ماهي مورد بررسي قرارگرفت. بدين منظور ۷۵ قطعه ماهي با ميانگين وزن۱/۷۵± ۵ /۶۲ **(Mean+SD)** گرم وارد هر مخزن پرورش ماهي شد. مخزن پرورش ماهي از جنس فايبرگلاس و داراي ظرفيت نگهداري ۸۴۰ ليتر آب بود كه در آن ۶۴۰ ليتر اب ريخته شد. براي تغذيه ماهيان از غذاي حبه‌اي **(pellet)** شناور و مخصوص پرورش بچه ماهي تيلاپيا استفاده شد كه از نظر تركيب بيوشيميايي حاوي ۲۴ درصد پروتئين، ۶ درصد چربي، ۶ درصد فيبر و ۱۱ درصد رطوبت بود. ماهيان دوبار در روز و به مقدار ۵ درصد وزن بدنشان در ساعت ۹ صبح و ۲ بعدازظهر غذادهي شدند. در طول آزمايش، سه بار ۴۲نشاي كاهو كشت و برداشت شدند. مقدار محصول كاهوي برداشتي به ترتيب برابر ۳۳۹±۱۴۳۷، ۲۹۷±۲۱۱۲ و ۲۰۲±۱۱۷۳ گرم در متر مربع براي سه دوره متوالي بود. در اين آزمايش مشخص شد كه در سازگان طراحي‌شده امكان پرورش ماهي و گياه با هم وجود دارد و سازگان توانايي كاهش تركيبات نيتروژن‌دار را بعد از ۵ هفته از شروع آزمايش و تا حد استاندارد دارد. با شروع آزمايش غلظت آمونياك در آب افزايش يافت و بعد از ۵ هفته مقدار آن به حدود ۸ ميلي‌گرم در ليتر رسيد . سپس غلظت آن كاهش يافت و يك هفته مانده به پايان آزمايش به حدود ۱/۴۵ ميلي‌گرم در ليتر رسيد. مقدار غلظت نيتريت آب بعد از دو هفته از شروع آزمايش افزايش يافت و بعداز ۹ هفته غلظت آن به حدود۱/۵۲ ميلي‌گرم در ليتر رسيد. در كل ميزان غلظت نيتريت داراي تغييراتي بين ۰/۰۲۸-۲/۳۰ ميلي‌گرم در ليتر بود. ميزان غلظت نيترات تغييراتي بين ۰/۶۱-۱/۰۷ ميلي‌گرم در ليتر را داشت. اين مقدار در پايان آزمايش داراي ميانگين ۰/۶۱ ±۰/۷۳ بود. ميانگين وزن برداشت هر ماهي در پايان آزمايش ۱۹±۱۸۸ گرم بود و ميانگين مقدار توليد ماهي در پايان آزمايش ۱/۵۵±۹/۲۵ كيلوگرم در هر واحد پرورش يا سازگان يا به حدود ۱۳ كيلوگرم در متر مكعب آب رسيد. ميانگين ماندگاري ماهي ۱/۹± ۶۸ درصد اندازه‌گيري شد. اين پژوهش نشان داد كه امكان طراحي و ساخت سازگان ساده توام پرورش ماهي و گياه به‌صورت يك مجموعه نزديك به هم و با حداقل استفاده از آب و فضا وجود دارد.

واژه‌هاي كليدي: *سازگان پرورش ماهي و گياه، باكتري‌هاي هوازي، باكتري‌هاي بي‌هوازي، ماهي تيلاپيا، گياه كاهو و كيفيت آب.*

۱- استاديار گروه شيلات و محيط زيست، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران **E-mail:** rezarafiee@yahoo.com
۲- دانشيار گروه فناوري كشاورزي، دانشكده كشاورزي، دانشگاه پوتراي مالزي، شهر سردانگ ايالت دارالاحسان، كشور مالزي
۳- استاديار گروه شيلات و محيط زيست دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران

مقدمه

در سي سال گذشته، انواع روش‌هاي زيستي براي بهبود كيفي آب و استفاده مجدد آن در سازگان‌هاي مختلف پرورش ماهي به روش متراكم به‌كار گرفته شده كه استفاده از دو نوع پالايش‌كننده باكتريايي در اين زمينه مهم‌ترين نها بوده است (Spotte, 1970; Liao & Mayo, 1974) . يكي پالايش‌كننده‌هايي كه در آن از طريق هوازي (Bacterial nitrifying biofilters) آمونياك توليدشده را به نيتريت و سپس به نيترات تبديل مي‌كنند و ديگري پالايش‌كننده‌هاي باكتريايي بي‌هوازي (Denitrifying bacterial biofilter) كه طي عملكردشان نيتريت و نيترات را به گاز نيتروژن(N_2) و اكسيد نيتروژن (N_2O) تبديل و از محيط پرورشي خارج مي‌كنند (Austin & Austin, 1989).

در پرورش آبزيان به‌طور معمول پالايش‌كننده‌هاي نوع اول به‌كار گرفته مي‌شوند. اگرچه پالايش‌كننده‌هاي نوع اول طي عملكردشان موجب كاهش غلظت آمونياك در محيط پروشي مي‌شوند، ولي در هنگامي‌كه پرورش متراكم و فوق متراكم ماهي در يك سازگان بسته مورد توجه قرار مي‌گيرد، مواد معدني و آلي توليدشده در محيط افزايش مي‌يابند و به حدي مي‌رسند كه اثر منفي بر رشد ماهي پرورشي خواهند گذاشت. بنابراين، براي جلوگيري از افزايش مواد معدني (مغذي) بويژه نيترات و فسفات در حين پرورش، استفاده از بخش پرورش گياه در سازگان پرورشي پيشنهاد شده است. مطالعات زيادي دراين‌باره انجام شده و سازگان‌هاي مختلفي طراحي شده است (Naegel, 1977; Lewis *et al.*, 1978; Sutton and Lewis; 1982; Rakocy, 1994) و هدف اصلي همه آنها استفاده از مواد معدني توليدشده به‌عنوان ماده غذايي براي پرورش گياه بوده است. از آنجاكه اين پژوهش‌گران طرح‌هاي مختلفي را از نظر فيزيكي (طرح و ابعاد) و زيستي (نوع گياه و ماهي پرورشي) به‌كار گرفته‌اند، نتايج متعددي را نيز در اين زمينه داشته‌اند و در هيچ‌كدام از آنها بخش پرورش گياه، پالايش‌كننده‌هاي هوازي و غير هوازي به‌صورت مجموعه يكپارچه و با فاصله كم از هم به‌منظور حداكثر استفاده از فضا به‌كار گرفته نشده‌اند. در اين پژوهش با به‌كارگيري يك لوله پلي ونيل كلرايد (PVC) يا پلي كا به شكل ال (L) در جوار مخزن پرورش ماهي به‌عنوان عمل‌كننده هر دو بخش پالايش‌كننده باكتريايي هوازي و غيرهوازي و قرار دادن بخش گياه در بالاي مخزن پرورش ماهي سعي شد سازگاني طراحي شود كه فضاي كمتري را اشغال كند و امكان توليد ماهي تيلاپيا و كاهو نيز در يك مجموعة در كنار هم فراهم شود. ازاين‌رو سازگان مورد نظر به‌صورت ساده طراحي و از نظر توان توليد ماهي و حفظ شرايط كيفي آب مصرفي مورد بررسي قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

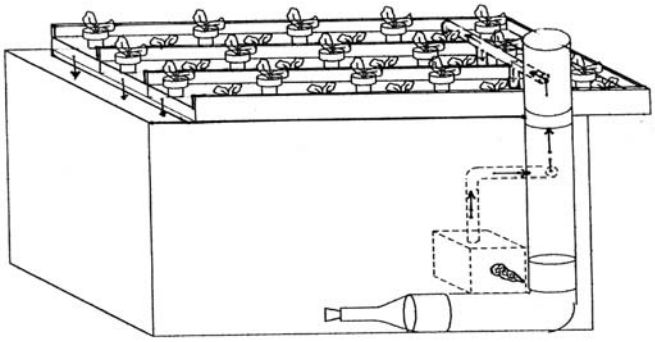
محل انجام آزمايش

اين آزمايش در مركز فناوري و مطالعات آبزيان دانشكده كشاورزي دانشگاه پوتراي مالزي (UPM) در كشور مالزي انجام گرفت.

طراحي سازگان و راه‌اندازي آن

بخش اصلي سازگان مخزن پرورش ماهي از جنس فايبرگلاس به طول ۱۱۰، عرض ۸۴ و ۱۰۰ سانتي‌متر ارتفاع و قرار دادن سه سيني پرورش گياه به طول ۱۱۰، عرض ۳۰ و عمق ۵ سانتي‌متر و در فاصله ۲۰ سانتي‌متري بالاي مخزن نگهداري ماهي و يك لوله پلي‌كا به شكل ال به‌عنوان جمع‌كننده مواد دفعي ماهي(مدفوع) به قطر ۱۲/۵ سانتي‌متر داراي بخش افقي ٦۰ سانتي‌متر و بخش عمودي ۱۵۰ سانتي‌مترطول، تشكيل شد. لوله ال شكل به‌صورت موازي در كنار مخزن پرورش ماهي قرار داده شد. در انتهاي بخش افقي لوله يك مجراي خروجي تعبيه شد كه به‌وسيله سرپوشي در مدت پرورش ماهي و گياه بسته نگه‌داشته شد. يك پمپ آب به قدرت آبدهي ۳۰ ليتر دردقيقه در داخل مخزن نگهداري ماهي قرار داده شد. در حين آزمايش سازگان، آب از مخزن پمپ و به داخل لوله ال شكل وارد و تحت فشار مكش پمپ از لوله ال شكل و از طريق يك لوله

پلي اتيلن به قطر ۲ سانتي‌متر و از طريق سه انشعاب وارد هر يك از سيني‌هاي پرورش گياه مي‌شد، سپس آب داخل سيني از طريق فشار نيروي جاذبه دوباره از انتهاي سيني وارد مخزن نگهداري ماهي مي‌گرديد (شكل ۱).



شكل ۱: سازگان طراحي شده براي پرورش گياه كاهو و ماهي تيلاپيا به روش مدار بسته

خصوصيات فيزيكو- شيميايي آب مصرفي

در شروع آزمايش ، مخزن نگهداري ماهي داراي ظرفيت نگهداري حدود ۸۴۰ ليتر ب بود و با ۶۴۰ ليتر آب پر شد و به‌طور دائم از طريق دو پمپ هوا هر يك با قدرت هوادهي ۳ ليتر در دقيقه هو ا دهي شد. آب مصرفي داراي خصوصيات فيزيكو-شيميايي به شرح جدول ۱ بود.

جدول ۱: كيفيت پيراسنجه‌هاي شيميايي آب مصرفي در شروع آزمايش

پيراسنجه‌هاي آب مصرفي	Ec*	pH	Mn (mg/l)**	Zn (mg/l)	Cu (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	N (mg/l)	K (mg/l)	P (mg/l)
مقدار غلظت	۰,۲۳	۸/۱۰	۱/۱۷	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱	۲۳/۲۰	۱//۷۱	۱/۱۰	۲/۴۰	۰/۳۰

*Ec به ميلي موس بر سانتي متر

**mg/l = ميلي‌گرم در ليتر

كيفيت غذا و چگونگي مصرف آن

غذاي مصرفي جيره‌اي تجاري شامل حبه‌هاي شناور بود كه از كارخانه كارگيل (Cargill. Company) خريداري شده بود. غذا، مخصوص پرورش بچه ماهي تيلاپيا و از نظر تركيب بيوشيميايي حاوي ۲۴ درصد پروتئين، ۶ درصد چربي، ۶ درصد فيبر و ۱۱ درصد رطوبت بود. ماهيان به مقدار ۵ درصد وزن بدنشان و دو بار در روز و در ساعت ۹ صبح و ۲ بعدازظهر غذادهي شدند.

نوع گياه و ماهي پرورش‌يافته در سازگان

گياه پرورشي در سازگان مورد نظر كاهو (*Lactuca sativa*) بود. تعداد ۱۴ نشاي كاهو و به سن ۲ هفته در هر سيني پرورش كاهو وارد شد. براي ثابت نگه‌داشتن تعداد نشاها در سيني، از گلدان‌هاي پلاستيكي كوچك استفاده شد. در داخل هر گلدان يك نشا قرار داشت و گلدان‌هاي حاوي نشا درشروع آزمايش درداخل صفحه اي مشبك از جنس يونوليت (فوم) و بر روي سيني هاي پرورش گياه قرار گرفتند. ماهي نمونه وارد شده در سازگان پرورشي تيلاپياي قرم (*Oreochromis sp.*) بود. ميانگين وزن ماهي وارد شده به مخزن پرورشي ۵/۶۲±۱/۷۵ (Mean+SD) گرم بود و درداخل هر مخزن پرورش ماهي۷۵ قطعه ماهي تيلاپياي قرمز ريخته شد.

روش‌هاي اندازه‌گيري پيراسنجه‌هاي فيزيكو- شيميايي آب
غلظت اكسيژن محلول در آب (DO) و درجه حرارت آب مخازن پرورشي هر هفته دو بار با دستگاه اكسيژن و درجـه حرارت‌سنج (YSI Model 57) اندازه‌گيري شد.
هدايت الكتريكي آب (Ec) دو بار در هفته با دستگاه اندازه‌گيري هدايت الكتريكي آب (HANA, HI 8033) اندازه‌گيري شد. آب با دستگاه pH سنج (Orion model 410A) دوبار در هفته و با نمونه‌برداري از آب مخزن پرورش ماهي به مقدار ۱۰۰ سانتي‌متر مكعب اندازه‌گيري شد.
مقدار آمونياك كل (TAN) و نيتريت (NO_2-N) بعد از نمونه برداري از آب به مقدار۳۰۰ سانتي‌متر مكعب و با ۳ تكرار و رقيق كردن آن به نسبت ۱ به ۱۰ با آب مقطر خالص به ترتيب با روش ايندوفنل (Indophenols) و استفاده از سولفونيك اسيد و تركيب آن با نكوتين اتيل دي آمين (NED) بنابر روش پارسون (Parsons, 1984) و كتاب استاندارد آمريكا (AHPA,1980) چاپ پانزدهم اندازه‌گيري شد. غلظت نيترات آب (NO_3-N) در مخزن نگهداري ماهي بر اساس روش كيتامورا و همكاران (Kitamura *et al*., 1982) اندازه‌گيري شد.

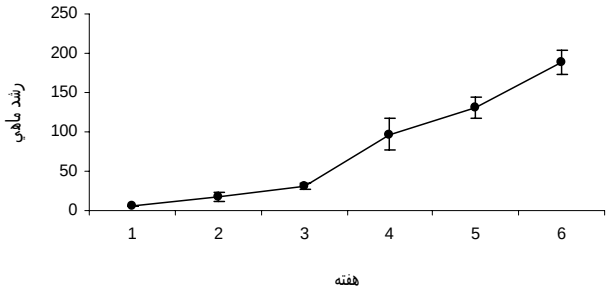
زيست‌سنجي ماهيان
براي تعيين ميزان رشد ماهي در طول آزمايش، هر سه هفته يك بار از ماهيان موجود در مخزن نمونه‌برداري شد. براي اين‌كار ۱۵ قطعه از ماهيان صيد و وزن شدند.

مدت زمان انجام آزمايش
طول مدت انجام آزمايش پانزده هفته بود. در روز شروع آزمايش ابتدا مخزن با ٦٤٠ ليتر آب پر شده و ۷۵ ماهي در آن ذخيره سازي گرديد. سپس پمپ آب روشن و آب به‌طور مرتب هوادهي شد. بعد از دو هفته از شروع آزمايش نشاهاي كاهو وارد سيني‌هاي پرورشي گياه شدند. شايان ذكر است كه در حين آزمايش هر ۳۵ روز يك‌بار محصول كاهو برداشت و نشاهاي جديد وارد سيني‌هاي پرورش شدند. سازگان پرورشي مورد نظر با سه تكرار مورد بررسي قرار گرفت.

تجزيه و تحليل داده‌ها
براي تجزيه و تحليل داده‌ها از آمار توصيفي استفاده شد.

نتايج

توليد ماهي
ميانگين وزن ماهي بعد از پانزده هفته به ۱۸۸±۱۹ گرم رسيد. متوسط ميزان رشد روزانه هر ماهي ۱/٦۳±۰/۱۷ گرم تعيين شد. ضريب تبديل غذاي مصرفي در انتهاي آزمايش ۱/۱۵±۰/۲٤ برآورد شد. با در نظر گرفتن مرگ و مير ناشي از بيرون پريدن ماهيان از سازگان ، ميانگين ماندگاري ماهي ۱/۹± ٦۸ درصد بود. چگونگي روند رشد ماهي‌ها در طول آزمايش در شكل ۲ نشان داده شده است. در پايان آزمايش مقدار محصول ماهي از هر مخزن ۹/۲۵±۱/۵۵ كيلوگرم بود.



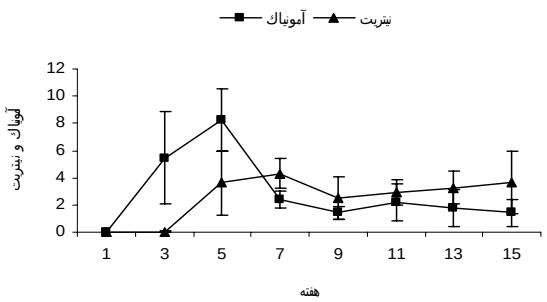
شكل ۲- نمودار ميانگين رشد فردي ماهي در طول آزمايش

توليد كاهو
همان‌طوركه گفته شد، در طول آزمايش سه بار محصول كاهو برداشته شد و در واقع سه بار نيز نشا كاري انجام گرفت. محصول كاهو به ترتيب در بار اول، دوم و سوم برداشت برابر با ۳۳۹±۱٤۷۳، ۲۹۷±۲۱۱۲ و ۲۰۲±۱۱۷۳ گرم بود.

پيراسنجه‌هاي كيفي آب

مقدار غلظت آمونياك كل در آب در حين آزمايش تغييرات زيادي را نشان داد. ابتدا و با شروع آزمايش غلظت آن در آب افزايش يافت. بعد از ۵ هفته مقدار آن به حدود ۸ ميلي‌گرم در ليتر رسيد . سپس غلظت آن كاهش يافت و يك هفته مانده به پايان آزمايش به حدود ۱/۴۵ ميلي‌گرم در ليتر رسيد.

مقدار غلظت نيتريت آب بعد از دو هفته از شروع آزمايش افزايش زيادي داشت. بعد از ۹ هفته غلظت آن به حدود۱/۵۲ ميلي‌گرم در ليتر رسيد (شكل ۳). ميزان غلظت نيتريت داراي تغييراتي بين ۲/۳۰-۰/۰۲۸ و ميزان غلظت نيترات داراي تغييراتي بين ۱/۰۷-۰/۶۱ ميلي‌گرم در ليتر بود. اين مقدار در پايان آزمايش داراي ميانگين ۰/۶۱ ±۰/۷۳ ميلي‌گرم در ليتر بود.



شكل ۳- نمودار ميانگين تغييرات غلظت آمونياك كل و نيتريت در طول آزمايش

در حين آزمايش مقدار غلظت اكسيژن محلول در مخزن پرورش ماهي كافي بود و دامنه تغييراتي بين ۸/۵-۶ ميلي‌گرم در ليتر را داشت. مقدار غلظت اكسيژن در كف لوله ال شكل تغييراتي بين ۵/۳-۳/۲ ميلي‌گرم در ليتر را داشت. درجه حرارت آب در حين آزمايش داراي تغييراتي بين ۳۰-۲۶ درجه سانتي گراد بود.

با شروع آزمايش، مقدار pH آب شروع به كاهش كرد. بعد از ۵ هفته عدد pH به زير ۶ رسيد، بعد از آن كمي افزايش يافت و در هفته هشتم به ۶/۵ رسيد . بعد از آن تغييراتي بين ۷/۱-۵/۴ را داشت.

در طول آزمايش هدايت الكتريكي آب به‌طور مداوم افزايش يافت و از ۰/۲۳ ميلي موس بر سانتي متر در شروع آزمايش به بيش از ۱۰۰ ميلي موس بر سانتي‌متر رسيد. بعد از اضافه كردن مقدار آب تبخيرشده در هفته پنجم آزمايش، مقدار هدايت الكتريكي آب كاهش يافت و بعد از آن دوباره شروع به افزايش گذاشت. سپس با اضافه كردن مجدد آب در هفته سيزدهم، هدايت الكتريكي آب كاهش نشان داد.

مقدار آب اضافه شده به سازگان در طول آزمايش

براي جبران مقدار آب تبخيرشده از مخزن نگهداري ماهي و در نتيجه تبخير تعرق گياه ، در طول مدت آزمايش دوبار به مخزن پرورش ماهي آب اضافه شد. در كل ميانگين مقدار آب اضافه‌شده برابر با ۱/۰۳±۱/۵۳ درصد حجم آب موجود در سازگان پرورشي در شروع آزمايش بود.

بحث و نتيجه گيري

با طراحي يك سازگان پرورشي مداربسته، امكان توليد ماهي و كاهو با يكديگر و در حد قابل قبولي با توجه به تراكم ماهي معرفي شده در شروع آزمايش به‌وجود آمد و سازگان نشان داد كه توانايي كاهش غلظت آمونياك را بعد از ۷-۵ هفته به كمتر از حد استانداردهاي تعيين شده براي تيلاپيا يعني ۲/۵ ميلي‌گرم در ليتر را دارد (Render & Stickney, 1979). در واقع مشخص شد كه براي عملكرد بهتر سازگان تراكم اوليه ماهي در شروع كار بايد كمتر در نظر گرفته شود يا به روشي تراكم باكتري‌هاي نيتريت‌ساز در سازگان افزايش يابد. غلظت نيتريت در پايان آزمايش حدود ۳ ميلي‌گرم در ليتر بود كه اين مقدار كمتر از حد تعيين شده براي گربه ماهي يعني ۷/۵ ميلي‌گرم در ليتراست (Render & Stickney, 1979)؛ يكي از ماهياني است كه امكان پرورش آن در سازگان وجود دارد. كاهش نيتريت تا حد متوسط۱/۰۰ و نيترات تا حد ۰/۲۳ ميلي‌گرم در ليتر نشان داد كه شدت عمل نيتروژن‌زدايي

(denitrification) توسط باكتري و گياه زياد بود. وجود نيتريت در محيط پرورشي نشان‌دهنده وجود باكتري‌هاي اكسيدكننده آمونياك (nitrifying bacteria) در محيط پرورشي است (Naegel, 1977; Rakocy, 1995). اگرچه، عملكرد باكتري‌هاي تبديل‌كننده آمونياك به نيتريت به‌علت كاهش pH در طول آزمايش در حد مطلوب نبود (Austin & Austin, 1987) . شايان ذكر است در اين پژوهش، براي نگه‌داشتن pH در حد خنثي براي عملكرد بهتر باكتري‌هاي هوازي و بي‌هوازي، از تركيبات بافري مانند بي‌كربنات سديم و منيزيم و سديم استفاده نشد (Rakocy, 1995). ماهيان حدود ۱۵ هفته در محيط پرورشي رشد يافتند و به وزني حدود ۱۸۸ گرم رسيدند. گزارش‌ها حاكي از آن است كه ماهي تيلاپيا (*Oreochromis niloticus*) در درجه حرارت ۲۳ درجه سانتي‌گراد بعد از ۱۸۰ روز به وزن ۱۸۸ گرم مي‌رسد.

يكي از نكات مورد توجه در اين آزمايش، كاهش شديد pH به كمتر از ٦ بود. كاهش pH خود يكي از علائم عملكرد توليد نيتريت و نيترات توسط باكتري هاي موجود در سازگان پرورشي است (Naegel, 1977; Rakocy, 1995). كاهش ميزان pH يكي از عواملي است كه فشار سميت غلظت‌هاي زياد آمونياك را با تبديل آن به يون آمونيوم كاهش مي دهد. اگر چه شرايط اسيدي حاكم بر سيستم ، فرار يا خروج گاز آمونياك را از سازگان پرورشي كاهش داد و از اين نظر اثر منفي بر بهتر شدن شرا يط كيفي ب داشت، ولي با توجه به اينكه در pH هاي پايين برخي از مواد مغذي نظير آهن، روي و فسفر حلاليت بيشتري دارند، قابليت دسترسي گياه به اين مواد بيشتر شد و اثر موثري در رشدگياه داشت. با وجود اين همان‌طور كه گفته شد، با ورود تركيباتي كه نقش بافري دارند، مي‌توان تغييرات pH آب را در محيط پرورشي كنترل كرد و موجب عملكرد بهتر باكتري‌هاي اكسيدكننده آمونياك شد.

با توجه به عملكرد سازگان، مشخص شد كه بخش گياه و لوله ال شكل با هم نقش موثري را در كاهش تركيبات ازته در محيط پرورشي ايفا كردند. غلظت كم نيترات و وجود مواد مدفوعي شناور در بالاي بخش عمودي لوله ال شكل، نشان‌دهنده عملكرد باكتري‌هاي بي‌هوازي در سازگان پرورشي بود (Seawright, 1993) . از آنجا كه اين فرايند در شرايط اكسيژني با غلظت كمتر از ۳ ميلي‌گرم در ليتر اتفاق مي‌افتد، اين موضوع را مي‌توان اين‌طور تفسير كرد كه با نشست مواد دفعي(مدفوع ماهي) در بخش افقي لوله، شرايط بي‌هوازي براي باكتري‌هاي احياكننده نيتريت و نيترات و تبديل آنها به گاز ازت (N_2) فراهم شد و با توجه به كاهش غلظت اكسيژن در كف بخش عمودي لوله و رسيدن آن به بيشتر از ۳ ميلي‌گرم در ليتر، مي‌توان گفت كه اين بخش از لوله محل نشست باكتري‌هاي هوازي در سازگان بود و در كل لوله داراي دو نقش يكي پالايش‌كننده باكتريايي هوازي و ديگري غيرهوازي بود. عملكرد بخش‌هاي مجزاي پالايش كننده‌هاي باكتري‌هاي هوازي و بي‌هوازي در طرح‌هاي پژوهش‌گران قبلي و در سازگان پرورش توام ماهي و گياه قبلاً به‌طور مجزا مورد بررسي قرار گرفته بود (Mackay & Toever, 1981; Wren, 1984, MacMurtry *et al.*, 1997). در اين زمايش عملكرد اين بخش‌ها به‌صورت تنگاتنگ مورد بررسي قرار گرفت. مقايسه مقدار محصول ماهي و كاهوي توليدشده در اين سازگان با ساير سازگان‌هاي مورداستفاده، نشان‌دهنده كارايي زياد اين سازگان است. در اين سازگان حدود ۱۳ كيلو ماهي در يك متر مكعب آب توليد شد و مقدار محصول كاهوي توليدشده به‌طور متوسط حدود ۱/۵ كيلوگرم در مترمربع بود. اين نتايج با نتايج تحقيقات ساير پژوهشگران يعني مقدار توليد ماهي ۷۳/۲۰ كيلوگرم در متر مربع و در سال و ۲۸۸ گرم در مترمربع كاهو (Gloger *et al.*, 1995) و ۸/۲ –۰/۹۱ كيلوگرم در مترمكعب آب براي تيلاپيا(MacMurtry *et al.*,1997) و ۱/۹۵-۰/۵ كيلوگرم ماهي در مترمكعب آب و ۱/۱۲٤ كيلوگرم كاهو در مترمربع (Burgoon & Baum, 1984) قابل مقايسه است.

مقدار رشد روزانه ماهي نيز در اين آزمايش حدود ۱/٦۳ گرم بود كه در مقايسه با مقادير ۲/۲-۱/۲٦ گرم به‌دست آمده توسط ساير پژوهش‌گران قابل قبول است

(Watten and Busch, 1984; Rakocy, 2000). ضريب تبديل غذايي در حدود ۱/۱۵ بود. اين ضريب در كارهاي انجام شده توسط ساير پژوهشگران تغييراتي بين ۱/۰۸ تا ۲/۲۵ را نشا ن داده است (Lewis *et al.*, 1978; Burgoon & Baum,1984).

يكي ديگر از نكات مهم اين آزمايش، مصرف كم آب و آن هم فقط براي جبران آب تبخيرشده بود. مقدار درصد آب جايگزين ۱/۵۳درصد حجم آب مصرفي در شروع آزمايش بود. در مقايسه با درصد آب جايگزين۱/۵ درصد (Rakocy *et al.*, 1997)، ۱/۲۰-٤/۷۰ درصد (MacMurtry *et al.*, 1997) و ۲/٦ درصد (Watten and Busch, 1984) مشخص شد كه سازگان طراحي‌شده كارايي قابل قبولي در كاهش مصرف آب دارد. از آنجاكه عملكرد گياه كاهو و لوله L شكل در حذف تركيبات نيتروژن‌دار در سازگان با هم مورد بررسي قرار گرفت، لازم است كه عملكرد اين دو بخش در تحقيق بعدي به‌طور مجزا بررسي شود.

منابع

1-American Public Health Association (APHA), American Water Works Association and Water Pollution Control Federation.(1980) Standard methods for experimentation of water and wastewaters, 15th edition. American public Health Association, Washington.

2-Austin, B & D. A. Austin, 1987. Bacterial Fish Pathogen Diseases in farmed and Wild Fish. Chichester: Ellis Harwood.

3-Burgoon, P. S & C. Baum, 1984. Year round fish and vegetable production in a passive solar greenhouse. New Alchemy Institute, East Falmouth, Massachusetts .02536.

4-Gloger, C. K., B. J. Cotner., M. W. M. Cole., J. E. Rakocy., D. S. Baily. & K. Shultz, 1995. A Contribution of lettuce to waste water treatment capacity of raft hydroponics in a closed recirculating fish culture system. Aquaculture Engineering and Waste Management, Proceedings from the Aquaculture in the mid-Atlantic conference. Washington, D.C. June 24-28, 1995.

5-Hach Company, 1991. Digital, Digestion Apparatus, Instrument Manual. Printed in USA.

6-Kitamura, H., H. Ishitani., Y. Kuge. & M. Nakamoto. 1982. Determination of nitrate in fresh water and seawater by hydrazine reduction method. Japan Journal of water pollution research. 5:35-42.

7- Lewis, W. M., J. H Yoop., H. L. Schramm. & A. M. Brandenburg, 1978. Use of hydroponics to maintain water quality of recirculated water in a fish culture system. Trans American Fish Society. 107(1): 92-99.

8-Liao, P. B & R. D. Mayo, 1974. Salmonid hatchery water reuse system. Aquaculture. 1: 317 – 335. Mackay, K. P, and Vantover, W. 1981. An ecological approach to water re-circulating for salmonids: preliminary experience. PP 249-258. Bioengineering symp. For fish culture (FCS publication No 1).

9-MacMurtry, M. R., D. C. Sanders., J. D. Cure., R. G. Hobson., B. C. Haning. & P. C., St. Amand, 1997. Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. World Aquaculture Society 28(4): 420-428.

10-Mackay, K. P & W. Tover, 1981. An ecological approaches to water re-circulating for salmonids: preliminary experience. Bioengineering symp. For fish culture (FCS publication No 1), 249-258.

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

12-Render, B. D & R. R. Stickney, 1979. Acclimation to ammonia by *Tilapia aurea*. Trans. American Fish. Society. 108(4):383-388.

13-Rakocy, J. E., D. S. Baily., K. A. Shultz. & W. M. Cole, 1997. Evaluation of a commercial-scale aquaponic unit for the production of tilapia and lettuce, Tilapia Aquaculture, Proceeding from the fourth international symposium on tilapia in aquaculture, Coronado, Florida. November 9-12, 1997.

14-Rakocy, J. E, 1995. The roles of plant crop production in aqua cultural waste water, Aqua cultural Engineering and waste management, proceedings from the aquaculture Expo VIII and Aquaculture in the Mid-Atlantic Conference, Washington, D.C. June 24-28, 1995.

15-Rakocy, J. E., 2000. Integrating tilapia culture with vegetable hydroponics in recirculating systems, Journal of World. Aquaculture society. 1(1), 163-184.

16-Rakocy, J. E, 1994. Waste water management in integrated recirculating system. PP 75-80. University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station, RR 2, Box 10,000 Kingshil, VI 00850, U, S. A. Bull. Nalt. Res. Inst. Agriculture, Suppl.1.

17-Seawright, D. E, 1993. A method for investigating nutrient dynamics in integrated aquaculture, hydroponics systems. In: Wang, J. K. (Ed.), Techniques for Modern Aquaculture. Proceedings of a Conference, 21-23 June (1993), Spokane, WA, PP.137-147.

18-Sutton, R.J & W. M. Lewis, 1982. Further observations on a fish production system that incorporates hydroponically grown plants. Progress Fish Culture. 44 (1): 55-59.

19-Spotte, S. H, 1970. Fish and invertebrate culture. Water management in closed system. 145 pp. Wiley-Inter science, New York.

20-Watten, B. J & R. L. Busch, 1984. Tropical production of Tilapia, *Sarothrodon aurea*, and Tomato, *Lycopersicon esculentum*, in small scale re-circulating water system. Journal of Aquaculture. 41, 271- 283.

21-Wren, S. W, 1984. Comparison of hydroponic crop production techniques in a recirculating fish culture system. M.S. thesis, Texas A&M University, College Station, TX, P: 66.

22-Zar J. H, 1996. Biostatistical analysis, PP 662. 3rd ed. Prentice Hall, New Jersey. Zimmerman, R., Iturriaga, R, and Kiel .U. K. 91978) Simultaneous determination of the total number of aquatic bacteria and the number thereof involved in respiration .American Society for microbiology, 36(6): 926-935.

Design of a Simple Closed Aquaponic System and Production of Red Tilapia (*Oreochromis* sp.)and lettuce (*Lactuca sativa* var longifolia)

Gh.R. Rafiee[1] M.H. Kamarudin[2] H. Farahmand[3]

Abstract

A simple recirculating tilapia and lettuce culture system containig aerobic and anaerobic bacterial compartments was designed. The efficiency of the system for fish and lettuce production as well as improvement of water quality parameters were investigated. Seventy five juveniles of red tilapia with a mean individual weight of 5.62 ± 1.75 g (Mean±SD) were introduced in each rearing fish tank. Fsh tank was a rectangular fiberglass one with the capacity of holding 840 liters of water. At the initiation of the experiment was the tank filled with 640 liters of fresh water. The system benefitted from a good efficiency in the reduction of N-compounds (total ammonia –N, nitrite and nitrate) at the defined standard levels after five weeks. The concentration of total ammonia-N increased and reached a level of 8 mg/l after 5 weeks. Concentration of total ammonia-N was 0.73 mg/l at the end of experimental period. Concentration of nitrite increased and got to less than 1.52 mg/l after 9 weeks. Concentration of nitrate averaged 0.73±0.61 mg/l at the end of the experimental period. The fish attained a mean individual weight of 188±19g at the end of 15-week experimental period. Mean fish was 9.14 ± 1.55 kg per unit of production system or about 13 kg/m^3 of water at the end of experiment. Three harvests biomass of lettuce yielded wet weights of 1437 ± 339, 2112 ± 297 and 1173 ± 202g respectively during the experimental period. Results indicated that with use of available facilities, construction of a simple recirculating aquaponic system for combined production of fish and vegetable with a minimum use of water and space would be practically possible.

Keywords: Recirculating a quaponics system, Aerobic bacterial biofilter, Anaerobic bacterial biofilter, Lettuce, Red tilapia, Water quality, N-compounds.

1- Assistant professor,Department of Fisheries and Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, P. O. Box: 31585 -4314, Karaj, Iran. Email: rezarafiee@yahoo.com

2-Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Universiti Putra Malaysia, Serdang, Selangor, Malaysia.

3- Assistant professor, Department of Fisheries and Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.