

مقایسه حذف فسفر در گیاه نی، بامبو و نخل مرداب

شیما رضامند^۱، بیتا آیتی^{۲*}، حسین گنجی دوست^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران (محیط زیست) دانشگاه تربیت مدرس تهران

۲- دانشیار مهندسی عمران (محیط زیست) دانشگاه تربیت مدرس تهران

۳- استاد مهندسی عمران (محیط زیست) دانشگاه تربیت مدرس تهران

Ayati_bi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۱/۱۰/۱۴]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۲/۲/۳۰]

چکیده- یکی از موارد آلوده کننده آب‌ها هنگام تخلیه و پذیرش فاضلاب مواد مغذی است که شامل نیتروژن و فسفر است. چنانچه حد فسفر از حد استاندارد (۶ میلی‌گرم بر لیتر) بیشتر باشد، موجب بروز پدیده یوتروفیکاسیون می‌شود و بدین ترتیب باعث آلودگی ثانویه آن‌ها به دلیل رشد بحرانی جلبک‌ها است. در روش گیاه پالایی از یک نوع گیاه خاص برای حذف، ذخیره، تثبیت، تجزیه یا تبخیر مواد آلوده کننده استفاده می‌شود که می‌توان حتی آن ماده مورد نظر را حذف یا بازیابی یا به عنوان منبع انرژی استفاده کرد. در این پژوهش از سه گیاه نی، بامبو و نخل مرداب برای حذف فسفر در غلظت‌های ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، کود کامل از آب در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد. در بین گیاهان نی و در بین غلظت‌ها ۲۵ بیشترین راندمان را داشتند. درصد حذف کلی با زمان ماند ۲ روز برای گیاه نی ۵۹، بامبو ۴۵/۵ و نخل مرداب ۳۰/۶۵ به دست آمد.

واژگان کلیدی: حذف، فسفر، گیاه پالایی، بیومس

۱- مقدمه

استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی به منظور افزایش ظرفیت تولید در بخش کشاورزی و نیز کاربرد روزافزون شوینده‌ها و تولید گسترده ترکیبات فسفره از یک سو و آلودگی منابع مختلف آب، خاک و هوا از سوی دیگر، ضرورت کنترل و تصفیه این ترکیبات را آشکار می‌سازد. توسعه و گسترش روش‌های مختلف حذف در پاسخ به نیاز کاهش میزان فسفر تخلیه شده به آب‌های سطحی از دهه ۱۹۵۰ آغاز شد. فسفر را با روش‌های مختلف شیمیایی حذف می‌نمایند که دارای معایبی از جمله هزینه بالا، راهبری مشکل، تولید لجن بالا و نیاز به ایمنی در بهره‌برداری دارد، اما می‌توان از فرایندهای زیستی مانند گیاه پالایی برای رفع این معایب استفاده کرد. در این زمینه پژوهش‌های زیادی انجام شده که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

در سال ۲۰۰۰ Delorme و همکاران، تصفیه خاک‌هایی که به وسیله کودهای شیمیایی از فسفر غنی شده بودند را به وسیله گیاهان مختلف بررسی کردند. در این بین گندم و دانه‌های غلات به عنوان بهترین گونه‌ها شناسایی شدند که بیشتر مقدار آلاینده در ساقه و برگ آن‌ها تجمع پیدا می‌کرد [۱]. در سال ۲۰۰۴ De Bashan و همکاران تحلیل جامعی روی تمامی موارد حذف فسفر از فاضلاب را انجام داده و معایب و مزایای گیاه پالایی را برشمردند [۲]. در سال ۲۰۰۸، Gerhardt و همکاران با مطالعه حدود ۱۳۷ مقاله، تمامی فرایندها و استرس‌های موثر بر رشد گیاه و فرایند گیاه‌پالایی (به خصوص مرتبط با ریشه) را بررسی و میزان مواد مغذی در دسترس، نوع آلاینده، میزان سمی بودن آن، تناسب غلظت آلاینده با حد تحمل گیاه انتخابی، تبخیر و تعرق، عوامل محیطی مانند تشعشع خورشید، اکسیژن، دما، نوع خاک، میکروب‌ها و میکروارگانیسم‌های موجود را به عنوان عوامل

آب با استفاده از گیاه‌پالایی پرداخته شد. از آنجا که فسفر یکی از عناصر مغذی در رشد گیاهان محسوب می‌شود، همه گیاهان میزانی درصد حذف یا جذب فسفر را دارد. اما از این میان گیاهانی که در شرایط آبی غلظت‌های بیشتر از حد معمول را بتوانند تحمل کنند و بیشترین راندمان را داشته باشند، مدنظر بودند که گیاهان تالاب‌ها دارای این ویژگی را دارد و در این پژوهش سه نوع نی، بامبو و نخل مرداب بررسی شدند.

۲- مواد و روش‌ها

در آزمایشگاه مهندسی محیط زیست به مدت ۹ ماه، تصفیه آب‌های محتوی غلظت‌های مختلف فسفر در فرایند گیاه‌پالایی مطالعه شد. راه‌اندازی سیستم شامل تهیه، تکثیر و انطباق گونه‌های گیاهی و سپس بررسی قابلیت گیاهان در حذف فسفر بوده است. سه گیاه مورد استفاده در این پژوهش شامل نی، بامبو و نخل مرداب (جدول ۱) بودند که سازگاری و تطبیق با آب و هوای منطقه، توانایی تحمل فسفر، رشد سریع و ایجاد زی‌توده گیاهی انبوه، عدم ایجاد رنگ، طعم و بو در آب، برخورداری از فیزیولوژی مناسب برای انجام آزمایش از جمله مزایای آن‌ها محسوب می‌شد.

جدول ۱- شناسایی طبقه بندی علمی گیاه

نخل مرداب	بامبو	نی	
<i>Plantae</i>	<i>Plantae</i>	<i>Plantae</i>	شاخه ^۱
<i>Poales</i>	<i>Asparagales</i>	<i>Poales</i>	راسته ^۲
<i>Cyperaceae</i>	<i>Ruscaceae</i>	<i>Poaceae</i>	خانواده ^۳
<i>Cyperus</i>	<i>Dracaena</i>	<i>Phragmites</i>	جنس ^۴
<i>C.alternifolius</i>	<i>D. sanderiana</i>	<i>P.australis</i>	گونه ^۵
<i>Cyperus alternifolius</i>	<i>Dracaena Sanderiana Sander ex Mast</i>	<i>Phragmites australis (Cav.) Trin.ex Steud</i>	نام ترکیبی ^۶

1 Kingdom

2 Order

3 Family

4 Genus

5 Species

6 Binomial name

موثر گزارش کردند [۳]. در سال ۲۰۰۸ Park و همکاران از پوسته صدف [۴] و در سال ۲۰۰۹ Zhao از کیک لجن آلود در بستر تالابی با گیاه نی برای فرایند گیاه‌پالایی و تصفیه فاضلاب کشاورزی استفاده کردند [۵]. در سال ۲۰۰۹ Priya و Sahi در آمریکا گیاهی جدید به نام چمن دوتایی (که تغییراتی در چمن ایجاد کرده بودند) را برای حذف فسفر اضافی خاک به روش گیاه‌پالایی مورد بررسی قرار دادند [۶]. همه این موارد تغییراتی بودند تا میزان جذب فسفر را در تالاب بالا ببرند. از سال ۱۹۷۰ تاکنون در کشورهای مختلف، پژوهش‌های بسیاری برای شناخت بهتر و بیشتر این سیستم‌ها انجام شده است. در سال ۲۰۰۰، Vymazal نتایج ۱۰ سال تجربه در زمینه تالاب‌های مصنوعی کشورهای اروپایی را که حدود ۳۰ سال از این فرایند برای تصفیه ثانویه، پیشرفته و یا تصفیه کلی جوامع کوچک استفاده می‌کردند را جمع‌آوری کرده است. طبق نتایج به دست آمده درصد حذف فسفر حدود ۵۱٪ بوده که بیشترین گیاه استفاده شده نی بوده است [۷].

Ryan نیز قابلیت پنج گیاه متفاوت (*Switch Grass (SG)* و *Annual ryegrass (ARG)*، *Erabgrass (CG)* و *Bahiagrass (BG)*، *bermudagrass (CB)* و *Common* را در حذف فسفر به مدت ۴ سال آزمایش کرده که *SG* بیشترین بیومس و درصد حذف را نشان داده است [۸]. در سال ۲۰۰۸ Dierberg و همکاران در فلوریدا شش تالاب ۳۲۵ الی ۶۶۹۸ هکتاری را مورد بررسی قرار دادند و میزان فسفر ته نشین شده در خاک و جذب شده به وسیله گیاه را مورد آزمایش قرار دادند [۹]. در سال ۲۰۰۹ *Escutia-Lara* و همکاران آثار اضافه کردن نیتروژن و فسفر را روی رشد ریشه‌ها در گیاه *Typh domingensis* در فرایند گیاه‌پالایی بررسی کردند [۱۰].

با توجه به این موارد و نیز برتری‌ها و مزایای زیست‌محیطی، بهداشتی و اقتصادی روش‌های تصفیه طبیعی نسبت به انواع شیمیایی و یا سیستم‌های جدید دیگر، لزوم پژوهش‌های بیشتر و شناسایی روش‌های مناسبتر برای جایگزینی احساس می‌شد. در این راستا در این پژوهش به بررسی میزان حذف فسفر از

حذف به وسیله گیاه در دو مرحله سریع و آهسته (یا ثابت شدن) صورت می‌گیرد. در حالت اول به سبب اینکه بیشتر سایت‌های گیاه خالی است، حذف به سرعت انجام می‌شود ولی با گذشت زمان و پر شدن تدریجی آنها عمل جذب کندتر شده و فرایند حذف به آرامی اتفاق می‌افتد. طبق نتایج به دست آمده، زمان ماند بهینه برای هر سه گیاه زمان ۲ روز به دست آمد و در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به اینکه فسفر یکی از عناصر مغذی است و جذب آن به وسیله گیاه باعث رشد آن و تولید بیومس می‌شود، تغییرات رشد در گیاه (رشد طولی، رشد قطری، ازدیاد برگ و ریشه‌ها)، وزن‌تر اندام زیر آب شامل ریشه‌ها و ریزوم‌ها و وزن‌تر اندام هوایی شامل ساقه‌ها و برگ‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت و در پایان وزن خشک گیاهان با استفاده از آن با زمان ماند ۲ روز و دمای 5 ± 80 درجه سلسیوس مطابق روش مذکور در کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب تعیین شد [۱۱].

به منظور بررسی وضعیت و کارایی سیستم‌ها، در کلیه مراحل، غلظت اولیه و نهایی فسفر (۳ بار تکرار) با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج 430 nm طبق روش 4500-PC کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب [۱۱] اندازه‌گیری شد. همچنین به منظور اطمینان از شرایط محیطی مناسب، pH و اکسیژن محلول هر روز مورد آزمایش قرار گرفته و مقدار آب تبخیر شده به طور روزانه با اضافه کردن آب مقطر به گلدان‌ها جبران می‌شد [۱۲].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- میزان حذف فسفر

طبق نتایج به دست آمده (نمودارهای ۱ تا ۳) در غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر هر سه گیاه نی، بامبو و نخل مرداب در مدت زمان بهره‌برداری توانایی حذف بالایی داشتند که با گذشت زمان به عدد ثابتی رسید ولی در دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با توجه به بالا بودن غلظت، راندمان حذف کاهش یافت.

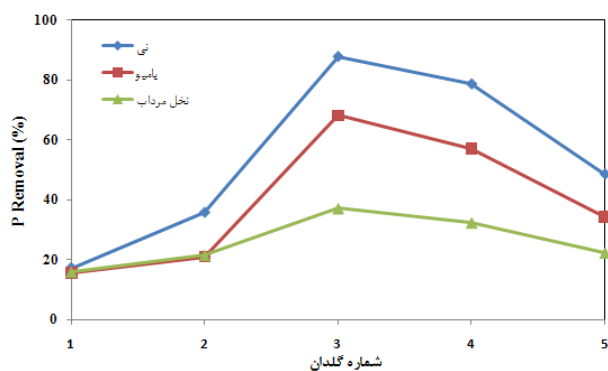
برای انجام پژوهش در مجموع از ۲۱ گلدان یعنی برای هر گیاه ۷ گلدان استفاده شد. بدین ترتیب که پنج گلدان برای بررسی ۵ غلظت مختلف فسفر، راکتور ششم بعنوان شاهد بدون اضافه کردن فسفر و گلدان آخر با کود کامل امکس^۱ برای نی (ازت، فسفر، پتاس، گوگرد، منیزیم، مس، روی، آهن، بر، منگنز، مولیبدن) و کود بامبو (ازت، فسفر، پتاس، گوگرد، منیزیم، مس، روی، آهن، بر، منگنز، مولیبدن، هورمون‌های گیاهی و ویتامین‌ها) بررسی شد. درون هر گلدان ۲ لیتر برای بامبو و نخل مرداب و ۶ لیتر برای نی آب ریخته شد و شرایط نور طبیعی فراهم شد تا به دلیل انتقال گیاه از محیط طبیعی به آزمایشگاه، میزان زرد شدن، کاهش رشد و پژمرده شدن گیاه به کمترین میزان برسد. با توجه به مشاهده‌ی رشد و شادابی گیاه طی مدت حدود یک ماه از سازگاری گیاهان هر راکتور با شرایط جدید اطمینان حاصل شد. به دلیل غالب بودن دی-هیدروژن پتاسیم فسفات در آب‌های سطحی و فاضلاب و جذب فسفر گیاه به صورت آن، فسفر به شکل KH_2PO_4 در ۵ غلظت مختلف مطابق جدول ۲ به راکتورها اضافه شد.

جدول ۲- غلظت‌های آزمایش شده

شماره راکتورها	میزان فسفر (mg/L)
۱	۲
۲	۱۰
۳	۲۵
۴	۵۰
۵	۱۰۰
۶	کود
۷	شاهد

در ابتدا برای حصول اطمینان از زمان ماند مناسب برای حذف فسفر به وسیله هر سه گیاه، محلول‌های آماده شده در دو غلظت ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، به مدت یک هفته تعویض نشده و هر روز مورد آزمایش قرار گرفتند تا میزان ثابتی از حذف به دست آید. بر اساس مطالعات انجام شده، عملیات

حذف نخواهد داشت بلکه مشابه سایر آلاینده‌ها افزایش در غلظت ثانویه نیز مشاهده می‌شود. همچنین نتایج کلی پژوهش، بیانگر قابلیت بیشتر گیاه نی نسبت به بامبو و نخل مرداب است (نمودار ۴).



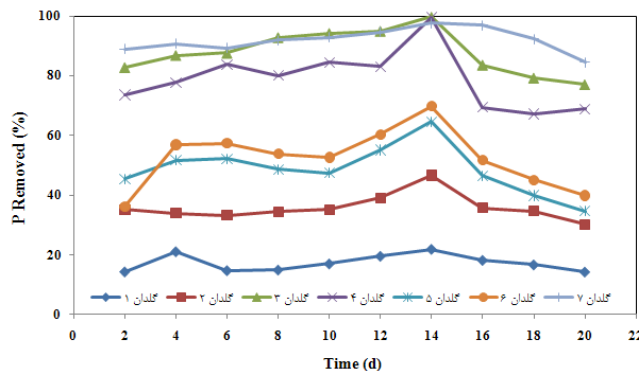
نمودار ۴- مقایسه میانگین حذف فسفر به تفکیک غلظت در سه گیاه

۳-۲- تغییرات بیومس

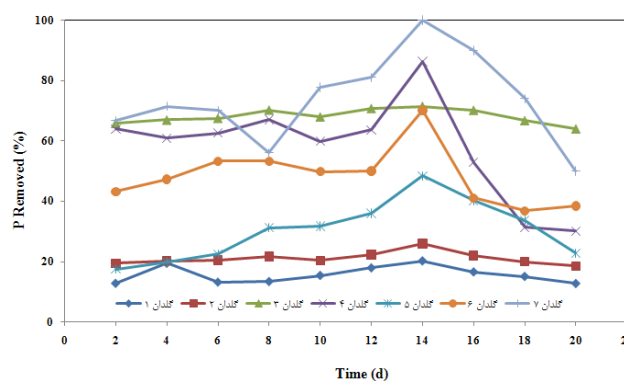
در مدت دوره پژوهش، سوخت و ساز گیاهان به صورت رشد در گیاه شامل رشد طولی و قطری در ساقه، ریشه و برگ‌ها و جوانه زدن (رنگ سبز روشن در آمدن برگ‌ها ناشی از جذب فسفر) بررسی شد. با افزایش بیومس گیاه، میزان حذف فسفر نیز افزایش یافت. در پایان آزمایش‌ها با گیاه، وزن تر ریشه‌ها (اندام زیر آب) و وزن ساقه‌ها و برگ‌های (اندام هوایی) گیاه و پس از تعیین آن، وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد که نتایج آن در نمودارهای ۵ (الف) تا ۵ (و) و شکل‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، بیشترین وزن تر و خشک گیاهی در بین نمونه‌های نی مربوط به راکتور ۳ است که در طول مدت آزمایش دارای راندمان حذف فسفات بیشتری بوده و رشد ریزوم‌ها و ریشه‌ها در بهترین وضعیت در آن دیده شد.

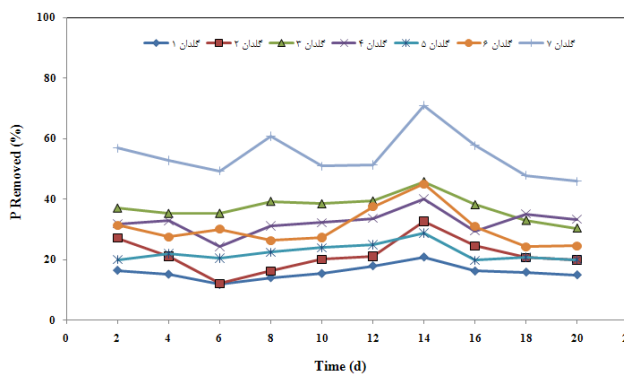
در رابطه با تغییر وزن بامبوها، بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی گیاهی مربوط به راکتور ۷ (حاوی کود) بود که در طول مدت آزمایش دارای برگ دهی بیشتری نسبت به سایر راکتورها و در نتیجه بیشترین وزن نسبت به سایر راکتورها بود. در راکتور دوم میزان رشد ساقه بیشتر از راکتورهای دیگر صورت گرفت ولی میزان برگ دهی آن در مقایسه کمتر بود.



نمودار ۱- میزان حذف فسفر به تفکیک غلظت در نی



نمودار ۲- میزان حذف فسفر به تفکیک غلظت در بامبو



نمودار ۳- میزان حذف فسفر به تفکیک غلظت در نخل مرداب

این پدیده را می‌توان به این صورت توجیه کرد که در غلظت‌های کم، فسفر بهتر جذب شده و در نتیجه غلظت ثانویه آن کاهش چشمگیری پیدا می‌کند و گیاه آن را برای سوخت و ساز طبیعی خود مصرف می‌کند. اما با افزایش غلظت و نزدیک شدن به آستانه تحمل گیاه و اشباع شدن آن، میل گیاه به جذب فسفر برای سوخت و ساز کاهش پیدا کرده و میزان حذف به مقدار ثابتی می‌رسد. به گونه‌ای که بعد از آن، اضافه نمودن غلظت نه تنها تاثیری بر میزان



شکل ۱- رشد بیومس در نی



شکل ۲- رشد قطری ریشه در بامبو

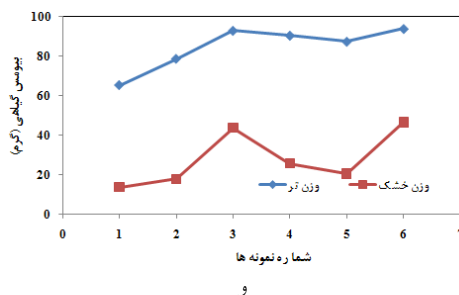
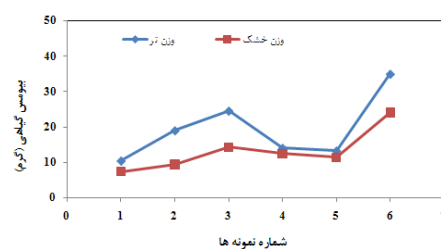
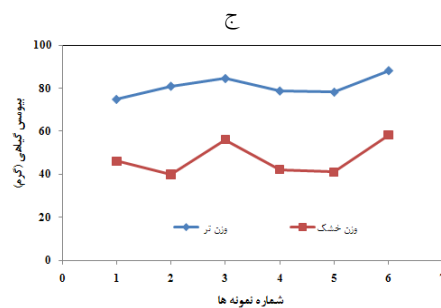
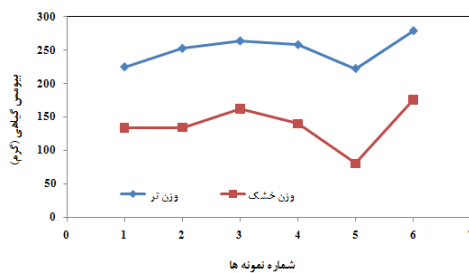
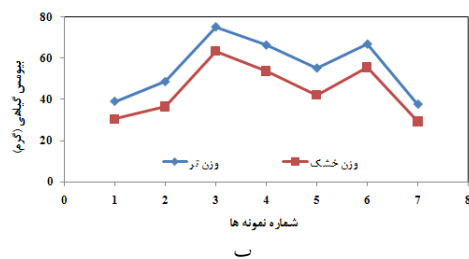
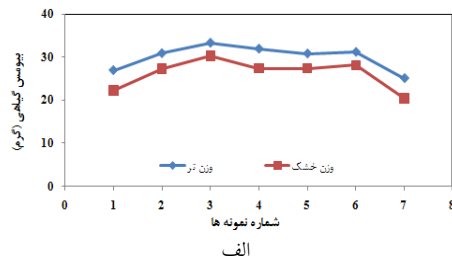


شکل ۳- رشد ریشه در نخل مرداب

وزن بیومس گیاهی در نخل مرداب به دلیل سازگاری کم گیاه با غلظت بالای فسفر نسبت به دو گیاه دیگر کمتر بود. در غلظت‌های مورد آزمایش درصد حذف فسفر به وسیله گیاه نخل مرداب در راکتور پنجم زرد و پوک شدن گیاه و کم شدن راندمان حذف مشاهده شد البته گیاه نخل مرداب در قسمت شاخه نازک و در قسمت ریشه قوی‌تر بود.

۳-۳- تغییرات pH

pH محیط یکی از عوامل موثر در فرایند حذف است که تغییرات آن در نمودار ۶ ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با افزایش غلظت در نمونه‌ها، pH اولیه کاهش یافته و pH ثانویه (پس از زمان ماند دو روز)، نسبت به مقدار اولیه افزایش پیدا کرده که این امر می‌تواند به دلیل ترشحات آکالوئیدی از ریزوم‌ها و



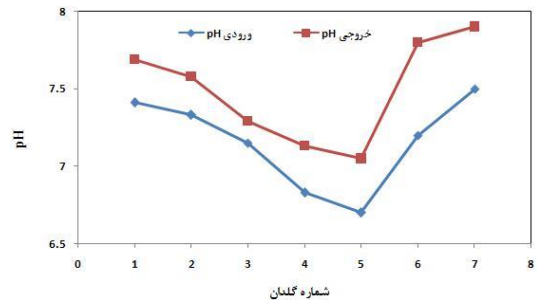
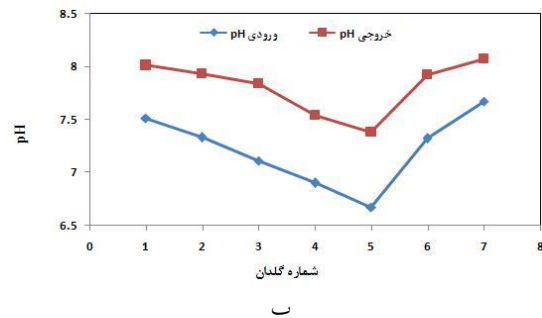
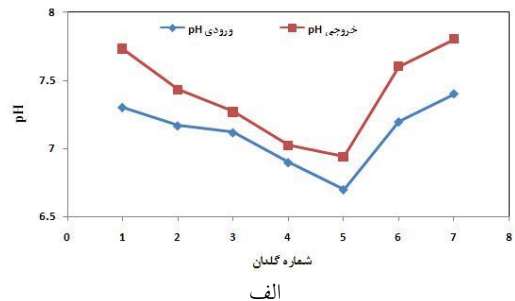
نمودار ۵- تغییرات بیومس گیاهی در قسمت‌های الف) هوایی نی ب) زیر آب نی ج) هوایی بامبو د) زیر آب بامبو ه) هوایی نخل مرداب و) زیر آب نخل مرداب

در هر سه گیاه به دست آمد که دلالت بر قابلیت جذب راحت‌تر دارد. در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیز راندمان بالایی (ولی کمتر از غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) به دست آمد که حاکی از توانایی این سه گیاه در حذف غلظت بالای فسفر است. بنابراین در غلظت‌های بالاتر فسفر، کارایی گیاه با زی توده بیشتر امکان پذیر بوده و این امکان فراهم می‌شود که میزان فسفر به حد مجاز (mg/L) ۶) برسد. به موازات حذف فسفر از آب، وزن گیاه افزایش یافت که دلالت بر رشد گیاه به دلیل جذب فسفر دارد. بین سه گیاه به ترتیب گیاه نی، بامبو و نخل مرداب درصد حذف بیشتری داشتند. با توجه به نتایج به دست آمده، تصفیه و حذف فسفر با روش گیاه-پالایی راندمان بالا و بسیار نزدیکی را با روش‌های دیگر تصفیه نشان دادند و می‌توانند جایگزین مناسبی برای آن‌ها و راه حل مناسبی در مدیریت زائدات به دست آمده از روش‌های دیگر باشند. با این وجود سازوکار گیاه‌پالایی نیاز به مطالعات بیشتری داشته که به احتمال زیاد در رابطه با چگونگی حضور فسفر در ساختار گیاه است.

۵- مراجع

- [1] Delorme, T.A., Angle, J.S., Coale, F.J., Chaney, R.L. (2000) Phytoremediation of phosphorus-enriched soils, *International Journal of phytoremediation*, 2 (2): 173 – 181.
- [2] De Bashan, L.E., Bashan, Y. (2004) Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer (1997–2003), *Water Research* 38 (2004) 4222–4246.
- [3] Gerhardt, K.E., Huang, X.D., Glick, B.R., Greenberg, B.M. (2008) Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and challenges, *Plant Science* 176 (1): 20–30.
- [4] Park, W.H., Polprasert, C. (2008) Roles of oyster shells in an integrated constructed wetland system designed for P removal, *Ecological Engineering*, 34 (1): 50–56.
- [5] Zhao Y.Q., Zhao X.H., Babatunde, A.O. (2008) Use of dewatered alum sludge as main substrate in treatment reed bed receiving agricultural wastewater: Long-term trial, *Bio-resource Technology*, 100 (2): 644–648.
- [6] Priya, P., Sahi, S.V. (2009) Influence of phosphorus nutrition on growth and metabolism of Duo grass (*Duo festulolium*), *Plant Physiology and Biochemistry* 47 (1): 31–36.
- [7] Vymazal, J. (2000) The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience, *Ecological Engineering*, 18: 633–646.
- [8] Ryan, V.A.A. (2006) Phytoremediation of a high phosphorus soil by summer and winter hay harvest, M.Sc. Thesis, Department of Agronomy and

ترشحات استرولی^۱ از ریزوم بامبوها باشد [۱۳]. ولی pH ثانویه در راکتورهای ۳ و ۴ که میزان حذف بالاتری دارد، تغییرات کمتری دارد. در راکتور ۵ کمترین میزان pH مشاهده شد زیرا با حل کردن مقدار بیشتر دی‌هیدروژن پتاسیم فسفات محیط به سمت اسیدی شدن میل پیدا کرد. با توجه به آزمایش‌ها، pH مناسب برای حذف فسفر با استفاده از هر سه گیاه میزان ۷ انتخاب شد.



نمودار ۶- تغییرات pH اولیه و ثانویه در راکتورها

(الف نی ب) بامبو (ج) نخل مرداب

۴- نتیجه گیری

مطابق نتایج به دست آمده سه گیاه نی، بامبو و نخل مرداب به خوبی فسفر را از آب آلوده حذف می‌کنند و قابلیت استفاده در عملیات گیاه‌پالایی به منظور رفع آلودگی از آب را دارند. بیشینه میزان حذف در زمان ماند دو روز، در غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر

1 B-Sitosterol, Campesterol, Stigmasterol, Ergosterol, Cholesterol and Stigmastanol

- [11] APHA, AWWA and WPCF, Standard method for the examination water and wastewater, USA: Washington DC. 2005.
- [12] Sooknah, R.D., Wilkie, A.C. (2004) Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater, *Ecological Engineering* 22 (2004): 27-42.
- [13] Lu, B., Ren, Y., Zhang, Y., Gong, J. (2009) Effects of genetic variability, parts and seasons on the sterol content and composition in bamboo shoots, *Food Chemistry* 112 (2009): 1016-1021.
- Environmental Management, Louisiana State University, Louisiana State, USA.
- [9] Dierberg, F.E., De Busk, T.A. (2008) Particulate phosphorus transformations in south Florida storm water treatment areas used for Everglades protection, *Ecological Engineering*, 34 (2): 100-115.
- [10] Escutia-Lara, Y., Gómez-Romero, M., Lindig-Cisneros, R. (2009) Nitrogen and phosphorus effect on *Typha domingensis* Presl. rhizome growth in a matrix of *Schoenoplectus americanus* (Pers.) Volkart ex Schinz and Keller, *Aquatic Botany*, 90 (2009): 74-77.

