بررسی تأثیر گیاهان آبزی در کاهش فسفر و هدایت الکتریکی پساب شهری

سارا صمیمی لقمانی[1] علی عباس‌پور[2]

(دریافت ۹۱/۲/۲۶ پذیرش ۹۱/۷/۱۲)

چکیده

فسفر یک عنصر غذایی برای موجودات زنده محسوب می‌شود، اما مقادیر زیاد آن در آبهای زیرزمینی و سطحی سبب بروز مشکلات محیط زیستی نظیر پدیده پرغذایی می‌گردد. لذا باید قبل از تخلیه پساب به منابع آبی مقدار فسفر آن تا حد امکان کاهش یابد. از روشهای مؤثر برای پالایش آبهای آلوده استفاده از گیاهان آبزی است. آزمایشی بر روی دو گیاه الودئا و عدسک آبی با چهار تیمار در سه تکرار در پایلوت‌های آزمایشی با جریان بسته انجام شد. تیمارها شامل: پساب اولیه همراه و بدون گیاه و پساب رقیق شده (با درجه رقت۱/۲) همراه و بدون گیاه بود. مقدار pH ، EC و فسفر کل محلول در زمان ماندهای ۸، ۱۶ و ۲۴ روز در نمونه‌های پساب اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مقدار pH پساب در طول زمان تا ۰/۲ واحد کاهش یافت، اما بین تیمارها تفاوت معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۵$) در مقدار pH مشاهده نشد. گیاهان، EC پساب را پس از ۲۴ روز ۷ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند. غلظت فسفر کل محلول در تمام تیمارها با گذشت زمان روند کاهشی داشت و مقدار کاهش فسفر در تیمارهای عدسک آبی و الودئا به‌ترتیب ۴۹ و ۷ درصد بود. به‌طور کلی عدسک آبی نسبت به الودئا توانایی بیشتری در کاهش فسفر پساب داشت.

واژه‌های کلیدی: عدسک آبی، الودئا، پرغذایی، فاضلاب، آلودگی آب

Effect of Aquatic Plants on Phosphorus Removal and Electrical Conductivity Decrease in Municipal Effluent

S. Samimi Loghmani[1] *A. Abbaspour[2]*

(Received May 15, 2012 Accepted Oct. 3, 2012)

Abstract

Phosphorus (P) is one of essential elements for living organisms, though its critical concentration in surface and ground waters impose a serious problem such as eutrophication. So treatment of polluted waters is required before discharging to water resources. One of effective ways to decrease water pollution is using aquatic plants. An experiment was conducted in pilots with a closed flowing system on two plants, elodea (*egria densa*) and duck weed (*lemna minor*) with four treatments and three replications. Data were analyzed in a factorial completely randomized design. Treatments included effluent with and without the plants, and effluent diluted (dilution grade 1/2) with and without the plants. Total dissolved P, electrical conductivity (EC) and pH value were measured after 8, 16 and 24 days in effluent samples. The results showed that pH value decreased up to 0.2 units during of 24 days of the experiment, but there was found no significant difference ($p\leq 0.05$) in pH values among the treatments. Both plants decreased EC about 7 % relative to the control (without plant) after 24 days. The plants were also effective in reducing total dissolved phosphorus, so that duck weed and elodea decreased total dissolved P in the effluent about 49 and 7%, respectively. It is concluded that duck weed is more effective in the P removal from the effluent than the other plant.

Keywords: Duck Weed, Elodea, Eutrophication, Effluent, Water Pollution.

۱- کارشناس ارشد خاکشناسی، دانشگاه شاهرود
۲- استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، گروه پژوهشی زیست فناوری، دانشگاه شاهرود (نویسنده مسئول) ۵۲۲۴۶۲۱ (۰۲۷۴)
abbaspour2008@gmail.com

1. M.Sc. of Soil Sciences, Shahrood University, Shahrood
2. Assist. Prof. of Water and Soil, Colleg of Agriculture, Biotechnology Research Department, Shahrood University, Shahrood (Corresponding Author) (+98 274) 5224621 abbaspour2008@gmail.com

۱- مقدمه

فسفر عنصری طبیعی و ضروری برای زندگی و یک ترکیب حیاتی در ساختارهای ژنتیکی سلول است که در واکنش‌های انتقال انرژی شرکت می‌کند. همچنین در تعداد زیادی از خاکها و اکوسیستم‌های آبی، فسفر یک عنصر تحریک کننده رشد گیاهان است، اما در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها به‌وسیله تحریک رشد جلبک‌ها و کاهش کیفیت آب بر اثر پدیده پرغذایی[1] سبب بروز مشکلاتی می‌شود. آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا[2] سطح بحرانی فسفر را در دریاچه‌ها ۰/۰۵ و در جویبارها ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر اعلام کرده است[۱].

ورود فسفر از زمین‌های کشاورزی و پساب‌های شهری و صنعتی کامل تصفیه نشده به آبها می‌تواند از مهم‌ترین منابع تهدیدکننده‌ی کیفیت آب باشد [۲]. از این رو کاهش فسفر باید قبل از تخلیه پساب به منابع آبی انجام گیرد. از جمله روشهای ساده و ارزان، روشهای طبیعی پالایش آبهای آلوده شهری است. این روشها به‌دلیل هزینه کم، مصرف انرژی بسیار پایین، راهبری ساده و عدم نیاز به نیروی بهره‌بردار متخصص، مورد علاقه بسیاری از پژوهشگران است [۳]. استخرهای پایدار فاضلاب، سیستم‌هایی کم‌خرج هستند و توانایی آنها در برداشت پاتوژن‌ها و آلاینده‌های آلی ثابت شده است؛ اما این استخرها برای استفاده مجدد مواد غذایی بهینه نیستند. سیستم استخرهای گیاهان آبزی به‌عنوان یک فناوری جذاب برای تیمار پسابها با هدف بازیافت مواد غذایی و استفاده مجدد آنها می‌تواند قابل استفاده باشد [۴]. گیاهان آبزی مانند سنبل‌آبی، عدسک آبی، الودئا و لویی برای تیمار زهابهای کشاورزی، پسابهای صنعتی و شهری استفاده شده‌اند [۵].

گیاه عدسک آبی از خانواده لمناسه[3] و جزو گیاهان شناور آبزی است که در شرایط مطلوب، رشد بسیار سریعی دارد [۶]. این گیاه به‌دلیل شناور بودن قسمت‌های رویشی و ریشه‌ها که به‌طور آزاد در درون آب قرار دارند، گیاه شناور نامیده می‌شود [۷] این گیاه در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری، در آبهای تازه، استخرها و دریاچه‌ها به فراوانی می‌روید [۸]. سرعت تکثیر بالا، حجم زیاد پروتئین در وزن خشک آن، استفاده از این گیاه به‌عنوان کود و خوراک ماهی و حیوانات، جلوگیری از نفوذ نور و ممانعت از رشد جلبک‌ها و برداشت آسان آن از دلایل گسترش کاربرد این گیاه در تیمار پسابها است [۹]. کاربرد عدسک‌آبی برای تیمار پسابها و برداشت مواد غذایی یک فناوری مفید و در حال توسعه است [۱۰].

گیاه الودئا یک گیاه آبزی غوطه‌ور و متعلق به امریکا است و از قرن ۱۹ در اروپا در حال گسترش است [۱۱]. این گیاه در دریاچه‌های با عمق کم و زیاد دیده شده و به‌طور عمومی به شرایط کمبود نور مقاوم هستند و به‌وسیله بذر و قطعه قطعه کردن ساقه سریع تکثیر می‌شود [۱۲]. گیاه الودئا از جنبه اقتصادی به‌عنوان یک گیاه تزئینی و غذا برای ماهیان گیاهخوار دارای اهمیت است [۱۳]. حضور این گیاه در طول دوره‌های فعالیت فتوسنتزی بالا، سبب کاهش کربن محلول در آب و افزایش محتوای اکسیژن محلول و pHآب می‌شود [۱۴].

استفاده از گونه‌های مختلف گیاهان آبزی غوطه‌ور در تیمار پسابها، به‌دلیل جذب عناصر غذایی باعث کاهش تدریجی هدایت الکتریکی و فسفر پساب می‌شود. یامچاتوراپاتر و همکاران بر روی ۱۸ گونه گیاه آبزی غوطه‌ور و سه گونه گیاه آبزی شناور تحقیق نمودند و دریافتند که بیشترین مقدار برداشت عناصر غذایی بر اساس وزن خشک گیاهی و سطح گیاهی به‌ترتیب توسط گونه‌های گیاهی غوطه‌ور و شناور صورت گرفت [۱۵]. مقدار برداشت فسفر توسط گیاهان مورد مطالعه بین ۴۰ تا ۱۱۹۰ میلی‌گرم بر متر مربع در روز متغیر بود. به هر حال گیاهان توانایی متفاوتی در برداشت فسفر از آبهای آلوده دارند که بستگی به‌شدت آلودگی و خصوصیات دیگر آبها نظیر pH و مقدار عناصر غذایی مورد نیاز گیاه دارد. در تحقیق حاضر تلاش شده است تا به کمک گیاهان آبزی، مقدار فسفر موجود در فاضلابهای شهری کاهش داده شود.

۲- مواد و روشها

این آزمایش در پایلوت‌هایی به ابعاد ۱۸×۲۵×۳۰ سانتی‌متر با جریان بسته با ۲ گیاه الودئا و عدسک آبی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۳ تکرار در مرکز تحقیقات آب و خاک خراسان رضوی انجام شد. تیمارها عبارت بودند از:

۱- پساب اولیه بدون گیاه(شاهد)

۲- پساب اولیه همراه با گیاه

۳- پساب رقیق‌شده (با درجه رقت۱/۲) بدون گیاه

۴- پساب رقیق‌شده (با درجه رقت۱/۲) همراه با گیاه

برای انجام این تحقیق از ۱۸ عدد ظرف پلاستیکی استفاده شد. برای مطابقت با شرایط طبیعی از شن الک شده در اندازه‌های تقریبی ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر که با آب معمولی و در نهایت با آب مقطر شسته شده بود، به‌عنوان بستر کشت به ارتفاع ۶ سانتی‌متر در ظروف استفاده شد. سپس در نیمی از پایلوت‌ها پساب اولیه و در بقیه آن‌ها پساب رقیق شده با آب مقطر (درجه رقت۱/۲) به حجم ۷ لیتر به‌عنوان دو محیط کشت مختلف ریخته شد. پس از آن از پساب اولیه و رقیق شده در تعدادی از پایلوت‌ها نمونه‌گیری شد و

[1] Eutrophication
[2] US. Environmental Protection Agency (USEPA)
[3] Lemnaceae

برخی از خصوصیات شیمیایی آنها مورد آنالیز قرار گرفت. پساب مورد استفاده در همان روز شروع آزمایش از تصفیه‌خانه پرکندآباد شهر مشهد به محل آزمایش انتقال داده شد. برخی خواص شیمیایی پساب مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول۱- خصوصیات شیمیایی پساب مورد استفاده

پارامتر	واحد	مقدار	
		پساب اولیه	پساب رقیق شده
EC	dS/m	۱/۳	۰/۸
pH	-	۸/۱	۸
فسفر کل	mg/l	۳/۲۹	۱/۵٤

گیاهان عدسک آبی و الودئا پس از شستشو با آب مقطر و قرار گرفتن در صافی برای از دست‌دادن رطوبت اضافی در وزن‌های ۷۳ و ۱۷ گرم (بر اساس وزن تر) درون پایلوت‌ها کشت شدند و از ۳ پایلوت در هر حالت پساب بدون کشت گیاه به‌عنوان شاهد استفاده شد و شرایط نور طبیعی در آزمایشگاه برای رشد گیاهان فراهم گردید. همچنین برای جبران مقدار آب تبخیر شده سطح آب علامت‌گذاری شد و روزانه مقداری آب مقطر به پایلوت‌ها اضافه می‌شد.

نمونه‌های پساب از زیر سطح آب در فواصل ۸ روز در دوره ۲۴ روزه آزمایش برداشت شدند و سپس در آزمایشگاه مورد آنالیز قرار گرفتند. pH نمونه‌ها توسط دستگاه pH متر (مدل 4010-Jenway) ، هدایت الکتریکی توسط دستگاه هدایت سنج (مدل 620-Metrohm) و فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد[۱۶].

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون LSD در سطح اختلاف معنی دار ۰/۰۵ استفاده شد.

۳- نتایج

۳-۱- واکنش (pH) پساب

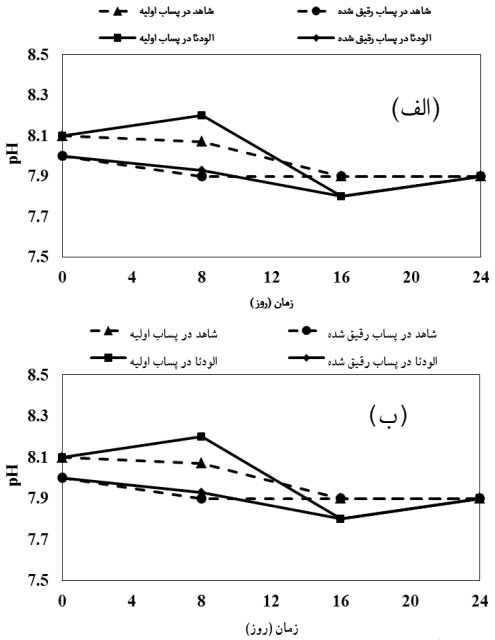
یکی از فاکتورهای مهم در تعیین کیفیت فاضلاب، pH است که بسیاری از واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی چه در طول فرایند تصفیه و چه پس از تخلیه، بر آن تأثیر می‌گذارد. عوامل متعددی از قبیل نوع ترکیبات معدنی و آلی موجود در فاضلاب، میزان تجزیه شدن مواد آلی، شدت فعالیت میکربی، مقدار و نوع ذرات معلق و حتی عواملی مانند دمای فاضلاب بر pH تأثیرگذار هستند [۱۲]. بیشترین حلالیت فسفر در pH حدود ۶/۵ است و با کاهش و یا افزایش pH ، حلالیت فسفر کاهش می‌یابد[۱۷]. pH نقش مهمی در برداشت فسفر از فاضلاب دارد. این عامل می‌تواند بر جذب فسفر به‌وسیله مواد اولیه، معدنی شدن فسفر و جذب فسفر به‌وسیله گیاه تأثیر بگذارد [۱۸].

نتایج آنالیز واریانس اثر تیمارهای گیاهی (عدسک آبی، الودئا و شاهد) بر pH پساب در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نبود، اما اثرات زمان و سطح پساب (پساب اولیه و رقیق شده) در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲). با گذشت زمان یک کاهش جزئی در مقدار pH پساب مشاهده شد به طوری‌که در مدت بیست و چهار روز pH در تیمارها حدود۰/۱ تا ۰/۲ واحد کاهش یافت(شکل۱).

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فسفر کل، pH و EC پساب

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		P	pH	EC
گیاه	۲	٤/۳۲**	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۵*
زمان	۳	۱٦/٦۰**	۰/۱۲**	۰/۵۳**
سطح پساب	۱	۱۲**	۰/۱۵**	۲/۸۱**
گیاه × زمان	۶	۱/٤۲**	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱**
گیاه × سطح	۲	۰/۱٦**	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰٤*
گیاه × زمان × سطح	۶	۱/۱٤**	۰/۰٦**	۰/۱۳**
خطا	۴۸	۳/۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰٦
کل	۷۱	۱/۲۷	۰/۰۲	۰/۰٤۹

* در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار، **در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار، ns در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نیست



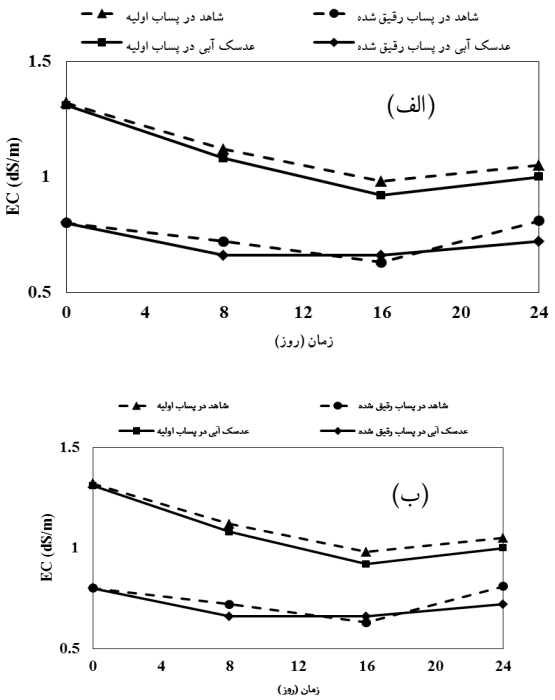
شکل۱- تأثیر گیاهان عدسک آبی (الف) و الودئا (ب) بر تغییرات pH پساب در طول زمان

شان و همکاران نیز کاهش pH را در هر سه فاضلاب مورد مطالعه در طول زمان مشاهده نمودند [۱۸]. گیاهان عدسک آبی و الودئا مقدار pH پساب اولیه را در زمان ماند اول (۸ روز اول) به‌طور جزئی افزایش دادند (شکل ۱). بیشترین کاهش مقدار pH پساب اولیه در در هر دو گیاه، در زمان ماند دوم (۸ روز دوم) اتفاق افتاد. مقدار pH پساب رقیق شده کمتر از پساب اولیه بود و روند تأثیر گیاهان در این تیمار در طول زمان ابتدا کاهشی و سپس افزایشی بود. به‌طور کلی بین تیمارهای گیاهی و بدون گیاه (شاهد) در مقدار متوسط pH پساب در انتهای زمان، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. این نتیجه با مطالعات برخی محققان هماهنگی داشت [۱۹ و ۲۰]. عوامل مختلفی بر کاهش pH با افزایش زمان ماند تأثیر می‌گذارند مانند تجزیه ترکیبات آلی که با تولید اسیدکربنیک همراه است و همچنین افزایش شدت فرایند نیتریفیکاسیون با افزایش زمان ماند سبب کاهش pH می‌شود. زیرا این فرایند یک منبع بیوشیمیایی برای تولید یون هیدروژن است در حالی‌که فرایند دنیتریفیکاسیون یک فرایند بازی است. علاوه بر این‌ها گیاهان به‌وسیله دفع یون H^+ به‌همراه جذب کاتیون و پخش اسیدهای آلی و رهاسازی CO_2 از مرحله تنفس ریشه‌ای، سبب کاهش pH می‌شوند. افزایش فرایند نیتریفیکاسیون، تجزیه مواد آلی و رهاسازی CO_2 در مرحله تنفس ریشه‌ای در زمان ماند دوم و سوم، احتمالاً می‌تواند دلایل کاهش pH باشد[۲۱].

۳-۲- هدایت الکتریکی (EC) پساب

از دیگر پارامترهای مهم در تعیین کیفیت فاضلاب، هدایت الکتریکی است که به‌طور مستقیم با نمکهای محلول در ارتباط است. مقدار کمی از نمکهای محلول در خاک و آب برای گیاه ضروری است و گیاه نیازهای تغذیه‌ای خود را از این نمکهای محلول تأمین می‌کند. مقدار شوری در آب وابسته به غلظت برخی از کاتیون‌ها مانند کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و آمونیوم و آنیون‌ها مانند کلر، سولفات، کربنات، بی‌کربنات و نیترات است [۱].

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول۱ نشان می‌دهد اثر تیمارهای گیاهی (عدسک آبی، الودئا و شاهد) بر EC ، پساب در سطح احتمال ۵ درصد و اثر زمان و سطح پساب، در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. شکل۲ نشان می‌دهد تأثیر گیاه عدسک آبی بر EC پساب با افزایش زمان کاهش یافته و مقدار EC در زمان ماند سوم نسبت به زمان ماند دوم به ویژه در پساب رقیق شده اندکی افزایش یافت. همچنین مقدار EC تیمار گیاه عدسک آبی، در زمان ماند سوم به‌ویژه در پساب رقیق شده نسبت به شاهد کمتر بود، به‌طوری که این گیاه مقدار EC پساب اولیه و رقیق شده را در انتهای زمان به‌ترتیب ۵ و ۱۰ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. گیاه الودئا نیز



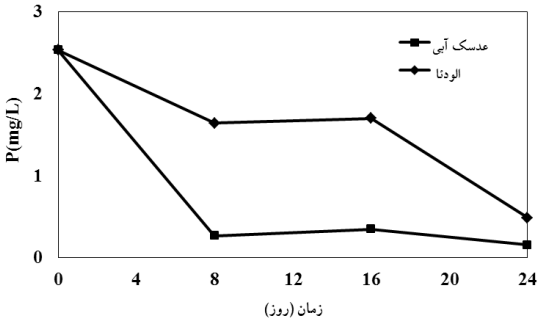
شکل ۲- تأثیر گیاهان عدسک آبی (الف) و الودئا (ب) بر تغییرات EC پساب در طول زمان

سبب کاهش مقدار EC پساب در طول زمان شد. همچنین مقدار EC در تیمار پساب رقیق شده گیاه الودئا در زمان ماند سوم نسبت به شاهد کمتر بود. به‌طور کلی در همه تیمارها در زمان ماند دوم مقدار EC کاهش یافت و تأثیر گیاه عدسک آبی در کاهش EC در مقایسه با الودئا بیشتر بود.

در کل می‌توان بیان کرد افزایش فرایندهای دنیتریفیکاسیون، رسوبگذاری، جذب گیاهی و جذب میکربی به‌دلیل حذف کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول سبب کاهش EC و تجزیه مواد آلی و آزاد شدن یون‌های موجود در ترکیبات آلی سبب افزایش EC می‌شود.

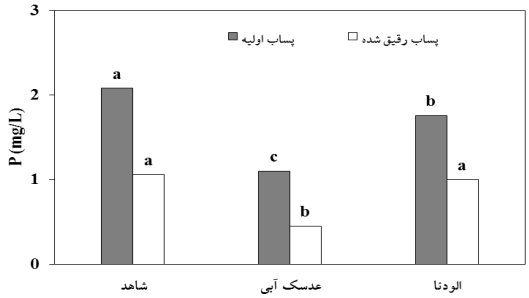
۳-۳- فسفر کل محلول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ نشان می‌دهد اثرات تیمارهای گیاهی، زمان و سطح پساب بر فسفر کل محلول در سطح ۱ درصد معنی دار بود. اثر گیاه عدسک آبی بر فسفر کل محلول در طول زمان یک روند کاهشی داشت که بیشترین کاهش در زمان ماند اول اتفاق افتاد (شکل ۳). به هر حال غلظت متوسط فسفر در انتهای زمان آزمایش (۲۴روز) نسبت به زمان اولیه ۹۳ درصد کاهش یافت. تیمار الودئا نیز سبب کاهش قابل ملاحظه فسفر کل محلول در طول زمان شد که بیشترین کاهش در زمان ماندهای اول و سوم اتفاق افتاد.



شکل ۳- تأثیر گیاهان عدسک آبی و الودئا بر تغییرات فسفر کل محلول پساب در طول زمان

غلظت متوسط فسفر در هر دو حالت پساب در تیمارهای گیاه عدسک آبی نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری کمتر بود به‌طوری که غلظت آن در تیمار مذکور در پساب اولیه و پساب رقیق شده نسبت به شاهد به‌ترتیب ۴۷ و ۵۷ درصد کاهش یافت (شکل ۴). غلظت متوسط فسفر در تیمار گیاه الودئا در پساب اولیه نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری ۱۵ درصد کاهش یافت و در حالت رقیق شده بین دو تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد گیاه عدسک آبی در برداشت فسفر با غلظتهای مختلف نقش مؤثری دارد. مطالعات ردی و دباسک نشان داد که در بین گونه‌های گیاهی آبزی مورد مطالعه، گونه عدسک آبی بیشترین مقدار برداشت فسفر را از آبهای آلوده به فسفر به همراه داشت [۱۴].



شکل ۴- تأثیر گیاهان عدسک آبی و الودئا بر تغییرات فسفر کل محلول پساب در دو حالت پساب اولیه و رقیق شده. میانگین‌ها در ستون‌های با شکل یکسان که دارای حروف مختلف هستند، در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار هستند.

برداشت فسفر در تالاب‌ها به‌وسیله فرایندهای جذب سطحی (رس و موادآلی)، جذب گیاهی، جذب میکربی، تشکیل کمپلکس و رسوبگذاری صورت می‌گیرد [۲۲]. مطالعات گذشته بیان می‌کند کاهش غلظت فسفر ارتباطی نزدیک با زمان ماندگاری دارد [۱۵]. نتایج آزمایش ردی نشان داد برداشت فسفر کل محلول از پساب در زمان ماندهای مختلف از روند مشخصی برخوردار نبود و با افزایش زمان ماند غلظت فسفر نسبت به غلظت اولیه آن کاهش یافت [۵].

نتایج به‌دست آمده کارایی بیشتر تیمارهای گیاهی را در برداشت فسفر نسبت به تیمارهای بدون گیاه نشان داد که تعداد زیادی از مطالعات گذشته این نتایج را تأیید می‌کند [۶، ۲۳ و ۲۴]. به‌طور میانگین برداشت فسفر با تیمارهای عدسک آبی و الودئا به‌ترتیب ۵۲ و ۸ درصد بیشتر از تیمارهای بدون گیاه بود. گائو و همکاران با مطالعه بر روی ۵ گونه گیاهی آبزی دریافتند که گونه‌های سراتوفیلوم[1] و الودئا بیشترین کارایی را در حذف فسفر از دریاچه‌ای در چین داشتند [۲۵]. ون و رکناگ در مطالعات خود بر روی ۳ گونه گیاه آبزی نتیجه گرفتند که این گیاهان قادرند حدود ۰/۰۴۳ تا ۰/۰۸۶ گرم بر متر مکعب در روز فسفر را از آبهای آلوده برداشت نمایند [۲۶]. بنابراین گیاهان نقش مهمی در برداشت فسفر دارند. همچنین گیاهان با حمایت بیشتر از باکتری‌ها سبب افزایش جذب میکربی فسفر در منطقه رایزوسفر گیاهی می‌شوند [۲۷و ۲۸].

مقایسه نتایج تأثیر گیاهان در برداشت فسفر نشان داد، گیاه عدسک آبی نسبت به گیاه الودئا کارایی بیشتری در برداشت فسفر دارد و نتایج حاصل از تحقیقات دیگران کارایی بیشتر گیاه عدسک آبی را نسبت به الودئا در برداشت فسفر در فصل زمستان تأیید می‌کند [۱۴و ۲۹].

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج، سیستم‌های گیاهی در مقایسه با سیستم‌های بدون گیاه، در حذف فسفر از پساب نقش مؤثرتری دارند و گیاه عدسک آبی بیشترین کارایی را داشت. در پایان این نتیجه کلی قابل تصور است که روشهای پالایش آبهای آلوده توسط گیاهان آبزی راهکاری مناسب برای حذف آلاینده‌ها محسوب می‌شوند که علاوه بر هزینه کم، فناوری ساده و مصرف انرژی پایین در اصلاح و بهبود محیط زیست نقش مؤثری دارند و می‌توانند به‌عنوان روشهای پالایش بیولوژیکی (ثانویه) جایگزین روشهای متداول شوند.

[1] Ceratophyllum

۵- مراجع

1. Shigaki, F., Sharpley, A., and Prochnow, L.I. (2007). "Rainfall intensity and phosphorus, source effects on phosphorus transport in surface runoff from soil trays." *Sci. Total Environ*., 373, 334-343.

2. Shokouh Saljoghi, Z., Malekpour, A., Rafiee, Gh., Imani, A., and Bakhtiari, M. (2011). "Removal of nitrite and nitrate from recirculation aquaculture system effluent (RAS) by modified bentonites." *J. of Water and Wastewater*, 78, 46-54. (In Persian)
3. Javanshir, A., and Jandaghi, M. (2008). "Evaluation of phosphate and nitrate removal capacity of *anodonta cygnea* (unionidae) in open and closed systems." *J. of Water and Wastewater*, 66, 25-33. (In Persian)
4. Zimmo, O.R., Van der Steen, N.P., and Gijzen, H.J. (2004). "Nitrogen mass balance across pilot-scale algae and duckweed-based wastewater stabilisation ponds." *Wat. Res*., 38, 913-920.
5. Reddy, K.R. (1983). "Fate of nitrogen and phosphorus in a wastewater retention reservoir containing aquatic macrophytes." *J. Environ Qual*.,12, 137-141.
6. Gurtekin, E., and Sekerdag, N. (2008). "The role of duckweed (lemna minor) in secondary clarifier tank." *Environ. Engineering*, 12, 28-31.
7. Schwarz, A., and Haves, I. (1997). "Effect of changing water clarity on characean biomass and species composition in alarge oligotrophic lake." *Aquat. Bot*., 56, 169- 181.
8. Amelie, K., and Kivaisi, A. (2001). "The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: A review." *Ecological Engineering*, 16, 545-560.
9. Skillicorn, P., and Spira, W. (1993). *Duckweed aquaculture*, World Bank Pub., Washington, D.C, USA.
10. El-Shafai, S.A., El-Gohary, F.A., and Van der Steen, N.P. (2004). "Chronic ammonia toxicity to duckweed fed tilapia." *Aquaculture*, 232, 117-127.
11. Barrat-Segretain, M.H. (2005). "Competition between invasive and indigenous species: Impact of spatial pattern and developmental stage." *Plant Ecol*., 180, 153-160.
12. Bowmer, K., Jacobs, S.W.L., and Sainty, G.R. (1995). "Identification, biology, and management of Elodea Canadensis, Hydrocharitaceae." *Aquatic Plant Management*, 33, 13-19.
13. USDA, A.R.S. (2009). "Taxon: Elodea canadensis michx. national genetic resources program." Germplasm Resources Information Network- (GRIN) [Online Database]. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland.
14. Reddy, K.R., and Debusk, W.F. (1985). "Nutrient removal potential of selected aquatic macrophytes." *J. Environ. Qual*., 14, 459-462.
15. Iamchaturapatr, J., Won, Y. S., and Rhee, J. S. (2007). "Nutrient removals by 21 aquatic plants for vertical free surface-flow (VFS) constructed wetland." *J. Ecology Engineering*, 29, 287-293.
16. Page, A.L. (1982). *Methods of soil analysis (part 1)*, Madison, Wisconsin: Am. Soc. Argon.
17. Abbaspour, A., Arocena, J.M., and Kalbasi, M. (2012). "Uptake of phosphorus by Brassica juncea and Medicago sativa in chloropyromorphite- and apatite-treated sand cultures." *Int. J. Phytoremediation*, 14, 531-542.
18. Shan, B., Ao, L., Hu, C., and Song, J. (2011). "Effectiveness of vegetation on phosphorus removal from reclaimed water by a subsurface flow wetland in a coastal area." *J. Environ. Sci*., 23(10) 1594-1599.
19. Lin, Y.F., Jing, S.R., Wang, T.W., and Lee, D.Y. (2002). "Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal from groundwater in constructed wetlands." *J. Environ. Pollut*., 119, 413-420.
20. Bezbaruah, A.N., and Zhang, T.C. (2004). "pH, redox and oxygen microprofiles in rhizosphere of bulrush (Scirpus validus) in a constructed wetland treating municipal wastewater." *J. Biology Technol*., 88, 60-70.
21. Ayyasamy, P.M., Rajakumar, S., Sathishkumar, M., and Swaminathan, K. (2009). "Nitrate removal from synthetic medium and groundwater with aquatic macrophytes." *J. Desalination*, 242, 286-296.
22. Lantzke, I.R., Mitchell, D.S., Heritage, A.D., and Sharma, K.P. (1999). "A model of factors controlling orthophosphate removal in planted vertical flow wetland." *Ecological Engineering*, 12, 93-105.
23. Xiang, W., Xiao, Y., and Rengel, Z. (2009). "Phytoremediation facilitates removal of nitrogen and phosphorus from eutrophicated water and release from sediment." *Environ. Monit. Assess*., 157, 1-4.
24. Hunter, R. G., Combs, D. L., and George, D. B. (2001). "Nitrogen, phosphorous, and organic carbon removal in sitmulated wetland treatment systems." *Environ. Contamination Toxicology*, 41, 274-281.
25. Gao, J., Xiong, Z., Zhang, J. Zhang, W., and Mba, F. O. (2009)." Phosphorus removal from water of eutrophic Lake Donghu by five submerged macrophytes." *Desalination*, 242, 193-204.
26. Wen, L., and Recknage, F. (2002). "In situ removal of dissolved phosphorus in irrigation drainage water by planted floats: Preliminary results from growth chamber experiment." *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 90, 9-15.
27. Werker, A.G., Dougherty, J.M., McHenry, J.L., and Van Loon, W.A. (2002). "Treatment variability for wetland wastewater treatment design in cold climates." *Ecological Engineering*, 19, 1-11.
28. Tang, X., Huang, S., and Scholz, M. (2009). "Nutrient removal in pilot-scale constructed wetlands treating eutrophic river water: Assessment of plants, intermittent artificial aeration and polyhedron hollow polypropylene balls." *Water Air Soil Pollut*., 197, 61-73.
29. Vermmat, J.E., and Hanif, M.K. (1998). "Performance of common duckweed species (Lemnaceae) and the water fern *Azolla Filiculoides* on different types of wastewater." *Wat. Res*., 32, 256-257.