

حذف فسفات به وسیله ریز جلبک‌ها از پساب خروجی فاضلاب شهری در شرایط آزمایشگاهی

نجمه احمد پور¹، محمد حسین صیادی^{2*}، مریم فلاحی کپورچالی³، محمد رضا رضایی²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند

2- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند

3- دانشیار پژوهشکده آبی پروری آبهای داخلی مؤسسه شیلات بندر انزلی بندر انزلی

* بیرجند، صندوق پستی 331

mh_sayadi@birjand.ac.ir

(دریافت مقاله: 94/2/5 پذیرش مقاله: 94/4/13)

چکیده- یون فسفات از آلاینده‌های شیمیایی است که از طریق فاضلاب‌های شهری و صنعتی و زه آب‌های کشاورزی وارد منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند. هدف از این مطالعه بررسی حذف فسفات از پساب فاضلاب شهری به وسیله ریزجلبک‌های کلرلا و لگاریس *Chlorella vulgaris* و اسپیرولینا پلاتنسیس *Spirulina platensis* است. به منظور بررسی حذف فسفات، ریزجلبک‌ها در شرایط آزمایشگاهی به 350 میلی‌لیتر پساب فاضلاب شهری اضافه و طی دوره‌های 8 روزه پرورش داده شدند؛ بطوری که وزن خشک روز اول کلرلا و لگاریس و اسپیرولینا پلاتنسیس به ترتیب در نمونه‌ها 0/02 و 0/05 گرم در لیتر بود. طی دوره رشد غلظت فسفات موجود در محلول آبی برای روزهای 1، 4، 6 و 8 با روش استاندارد (APHA) اندازه‌گیری و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر Bio spec-1601 قرائت گردید. بر اساس نتایج حاصل درصد حذف فسفات توسط کلرلا و لگاریس به ترتیب 40/65، 38/01، 24/45 و 72/21 و اسپیرولینا پلاتنسیس به ترتیب 20/13، 20/01 و 10/44 و 42/79 برای روزهای 1 الی 4، 4 الی 6، 6 الی 8 و 1 الی 8 بود. وزن نهایی کلرلا و لگاریس و اسپیرولینا پلاتنسیس به ترتیب 3/93 و 1/93 گرم در لیتر بود و با افزایش رشد ریزجلبک‌ها فسفات بیشتری حذف می‌شود. از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که جلبک‌ها توانایی بالایی در حذف فسفات از فاضلاب دارند و جلبک کلرلا و لگاریس توانایی بیشتری در کاهش فسفات از فاضلاب را دارد و می‌تواند برای کاهش فسفات در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژگان: آلودگی آب، اسپیرولینا پلاتنسیس، پساب فاضلاب، کلرلا و لگاریس.

1- مقدمه

بطوری که پساب‌ها و چگونگی دفع آنها از چالش‌های بشر در عصر جدید است. پساب‌های شهری منبع غنی از مواد آلی و مغذی بوده که باعث تقویت رشد ریزجلبک‌ها

رشد روزافزون جمعیت جهان و گسترش صنعت، منجر به تولید ضایعات و پساب بیشتری به وسیله بشر شده است؛

می‌دهند که این جلبک قادر است نیتروژن و فسفر را در غلظت‌های بالا به طور کامل حذف کرده و تولید بیومس را افزایش دهد، بنابراین گزینه خوبی در تصفیه فاضلاب شهری است [5].

هدف از انجام این مطالعه حذف فسفات توسط ریزجلبک‌های کلرلا ولگاریس *Chlorella vulgaris* و اسپیرولینا پلاتنسیس *Spirulina platensis* از پساب خروجی فاضلاب شهری بیرجند در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک می‌باشد.

2- مواد و روش‌ها

ریزجلبک‌های مورد استفاده در این مطالعه از موسسه تحقیقات آبریان بندر انزلی تهیه گردید و در ارلن مایرهای با حجم 1000 میلی لیتر با دمای 22 درجه سانتی‌گراد حاوی محلول استاندارد زاروک کشت داده شد [6]. از 2 لامپ فلورسانت با شدت نور 3500 لوکس به منظور نوردهی در سطح ارلن مایرها استفاده شد تمامی آزمایش‌ها در شرایط میدانی انجام شد که مقدار دمای محیط بین حداقل 22 و حداکثر 33 درجه سانتی‌گراد متفاوت بوده است. هوادهی با استفاده از پمپ هوا (RESUN AC-9603) با مشخصات فشار هوای 0/12MPa در کل طول دوره به صورت مداوم انجام شد. [4] وزن خشک سلولی (g/L) از طریق سانتریفیوژ کردن 10 میلی‌لیتر از هر نمونه در دور 4500 RPM به مدت 30 دقیقه انجام شد و پس از آن در آون در دمای 105 درجه سانتی‌گراد به مدت 40 دقیقه خشک گردید. لازم به ذکر است که هر یک در 3 تکرار مورد بررسی قرار گرفت.

2-1- فاضلاب شهری

پساب فاضلاب مورد استفاده در این مطالعه از محل تصفیه‌خانه دانشگاه بیرجند تهیه گردید. فاضلاب شامل مقادیر بالایی از موادی مانند سموم و میکروب‌ها است.

می‌شوند. از بین این مواد می‌توان به آمونیوم، نیترات و فسفات اشاره کرد که در یوتریفیکاسیون شرکت دارند. ریزجلبک‌ها علاوه بر اینکه می‌توانند در پساب‌های غنی از نیتروژن و فسفر رشد کنند، پتانسیل بالایی در حذف این ترکیبات از فاضلاب دارند [1]. کاربرد ریزجلبک‌ها برای تصفیه پساب‌ها مزایای متعددی دارد که از مهمترین آن می‌توان به عدم ایجاد خطرات زیست محیطی با تکیه بر اصول اکوسیستم‌های طبیعی، عدم ایجاد آلودگی ثانویه در صورت استفاده از بیوماس تولیدی و توانایی ریزجلبک‌ها در بازچرخش مؤثر مواد مغذی موجود در پساب‌های ثانویه اشاره کرد. بسیاری از گونه‌های جلبکی، به آلودگی‌های موجود در پساب‌ها مقاومند و سریعاً در محیط غنی از نیتروژن و فسفر مستقر می‌شوند و با استفاده از این مواد جهت رشد می‌توانند موجب حذف نیتروژن و فسفر پساب گردند و این نشان می‌دهد که سیستم پرورش میکروجلبک‌ها می‌تواند به عنوان جایگزین فرایند تصفیه ثانویه پساب به منظور حذف مواد مغذی از آنها به کار گرفته شود [2]. از مطالعات انجام شده بر روی قابلیت حذف ازت و فسفر پساب توسط ریزجلبک‌ها می‌توان به مطالعات بر روی اسپیرولینا پلاتنسیس در سال 1390 چنگانی و همکارانش که برای تصفیه فاضلاب استفاده نمودند، اشاره کرد. آنها در این مطالعه نشان دادند که این ریزجلبک در پساب‌های غنی از مواد غذایی رشد می‌کند و به عنوان جایگزینی برای تصفیه ثانویه مناسب می‌باشد [3]. تم و وانگ در سال 2000 حذف نیتروژن آمونیومی و ارتوفسفات از پساب را در سیستم حاوی سلول‌های آزاد و تثبیت شده مقایسه کردند. راندمان حذف آمونیوم و ارتوفسفات در سیستم تثبیت شده، 78 و 94 درصد و در سیستم با سلول آزاد 40 و 59 درصد حاصل شد [4]. وانگ و لان در سال 2011، تولید بیومس و حذف نیتروژن و فسفر را از فاضلاب شهری توسط جلبک سبز *oleoabundans Neochloris* مطالعه کردند. نتایج آن نشان

میلی گرم بر لیتر) در روز 8 رخ داده که نشان دهنده حذف 70/2 درصد فسفات (شکل 1) توسط ریز جلبک کلرلا ولگاریس می‌باشد. جدول 1 همچنین نشان دهنده بیشترین وزن خشک (3/93 گرم در لیتر) ریز جلبک کلرلا ولگاریس در روز 8 می‌باشد که نتیجه حذف مواد غذایی از جمله فسفات از محلول آبی است که وارد جرم سلولی ریز جلبک شده است.

در این آزمایش در شرایط مشابه، روند کلی تغییرات فسفات توسط ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس نیز مورد بررسی قرار گرفت. درصد حذف فسفات توسط ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در بازه‌های زمانی مختلف به ترتیب 20/13، 20/01، 10/44 و 42/79 برای روزهای 1 الی 4، 4 الی 6، 6 الی 8 و 1 الی 8 می‌باشد (شکل 1). همان‌گونه که شکل و جدول 1 نشان می‌دهند، ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس توانایی حذف فسفات کمتری از پساب تصفیه خانه فاضلاب را نسبت به ریز جلبک کلرلا ولگاریس دارد. از آنجا که ریز جلبک کلرلا ولگاریس راندمان بالایی در حذف فسفات از پساب را دارد، لذا می‌تواند برای حذف این آلاینده بکار رود.

نتایج آماری طبق آزمون توکی نشان داد که بین مقادیر حذف فسفات در طول دوره‌های زمانی مختلف به وسیله ریز جلبک کلرلا ولگاریس دارای اختلاف معنی‌داری در سطح $P < 0/01$ وجود دارد، در حالی که برای ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس اختلاف معنی‌داری در سطح $P < 0/05$ و $P < 0/05$ نشان داده است.

برای بررسی دقیق و جلوگیری از تداخل سایر میکروارگانیسم‌ها، پساب فاضلاب از طریق یک کاغذ صافی 0/45 تری فیلترگردید [7]. برای اطمینان از عدم وجود هر گونه آلودگی مانند آلودگی‌های فارچی و میکروبی، در اتو کلاو در دمای 121 درجه سانتی‌گراد به مدت 20 دقیقه استریل و سپس دو گونه ریز جلبک در شرایط کاملاً استریل به محیط اضافه شد. وزن خشک اولیه کلرلا ولگاریس و اسپیرولینا پلاتنسیس به ترتیب در نمونه فاضلاب 0/026 و 0/056 گرم در لیتر بود و در فاصله زمانی 1، 4، 6، 8 روز، 50 میلی‌لیتر از هر ارلن برداشت و میزان غلظت فسفات به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر Bio spec-1601 اندازه‌گیری شد [9.8]. روش اندازه‌گیری فسفات از کتاب روش‌های استاندارد آب و فاضلاب اقتباس شده است [10].

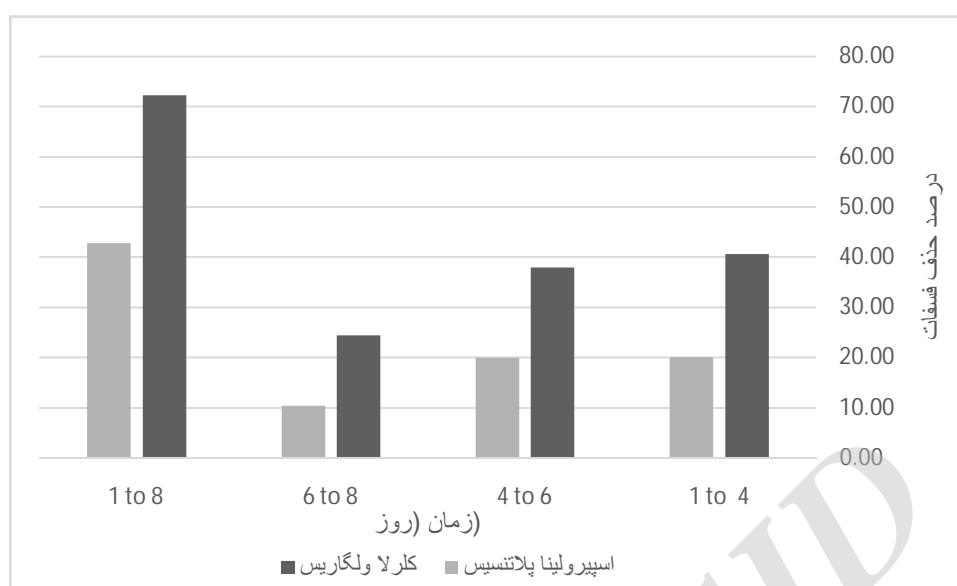
به منظور آنالیز داده‌ها، اطلاعات به دست آمده توسط نرم‌افزارهایی مانند Excel و SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. تحلیل‌های آماری بر اساس سه تکرار در هر آزمون و آنالیز واریانس یکطرفه ANOVA و طرح Tukey انجام شد.

3- نتایج

جدول 1 نشان‌دهنده میزان تغییر غلظت فسفات و وزن خشک ریز جلبک‌ها با تغییرات زمان است. همان‌گونه که جدول 1 نشان می‌دهد، غلظت فسفات با توجه به گذشت زمان در محلول‌های آبی (پساب فاضلاب) کاهش پیدا می‌کند؛ بطوری که کمترین غلظت فسفات (14/08)

جدول 1 میزان تغییر غلظت فسفات و وزن خشک ریز جلبک‌ها با تغییرات زمان

روز	کلرلا ولگاریس				اسپیرولینا پلاتنسیس				
	1	4	6	8	P _{value}	1	4	6	8
فسفات (میلی گرم بر کیلوگرم)	40/65	38/01	24/45	72/21	0/000	20/13	20/01	10/44	42/79
وزن خشک (گرم)	0/02	0/24	3/84	3/93	0/000	0/05	1/02	1/90	1/93



شکل 1 درصد حذف فسفات در بازه‌های زمانی مختلف توسط ریز جلبک‌ها

گونه‌های محلی که غالباً *Chlorella pyrenoidosa* بود، تهیه نمودند. جلبک‌ها به خوبی تحت شرایط مختلف محیطی همچون pH، درجه حرارت، نور و تاریکی رشد نمودند و طی دوره‌های پانزده روزه، قادر به حذف 50-60 درصد فسفر شدند. در مطالعه حاضر ریزجلبک کلرلا ولگاریس توانست 70 درصد فسفات موجود در پساب شهری را کاهش دهد [13]. اصلان و کاپدان در سال 2006 از گونه اسپیرولینا برای تصفیه فاضلاب استفاده کردند، فاضلاب 2٪ رقیق شده هوازی حاوی فاضلاب خوکی بود که درصد حذف فسفر و نیتروژن به ترتیب 96٪ و 87٪ بود در حالی که در این تحقیق تحت شرایط محیطی مناسب ریز جلبک‌های کلرلا ولگاریس و اسپیرولینا پلاتنسیس به ترتیب توانستند 72/21٪ و 79/42٪ از فسفات را حذف کنند [14]. در سال 1377 زمانی و همکاران، برای حذف نیتروژن نیتراتی و ارتوفسفات از پساب شهری از گونه‌های مختلف ریزجلبک استفاده نمودند و نشان دادند که این ریزجلبک‌ها در پساب‌های غنی از مواد غذایی قادر به رشد بوده و جایگزین مناسبی برای تصفیه ثانویه هستند و

همچنین آزمون آماری توکی نشان می‌دهد که راندمان حذف ریزجلبک‌های کلرلا ولگاریس و اسپیرولینا پلاتنسیس دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند ($Pvalue < 0/01$)، بطوری که توانایی بالاتر حذف فسفات توسط ریز جلبک کلرلا ولگاریس از اسپیرولینا پلاتنسیس را نشان می‌دهد.

4- بحث

نتایج تحقیقات تم و وانگ در سال 2000 و فیرو و همکاران در سال 2007 نشان دادند که کاربرد یا وجود ریزجلبک در حذف ارتوفسفات از پساب تأثیرگذار بود و اثرهودهی در تیمارهای حاوی ریزجلبک اعم از تثبیت شده و آزاد، به مراتب از تیمار بدون ریزجلبک بیشتر بود. حذف مواد مغذی توسط سلول‌های ریزجلبکی مطابق با تراکم سلولی و فعالیت متابولیکی‌شان و شرایط محیطی می‌باشد و به نتایج این تحقیق نزدیک است [11،12]. محققان به بررسی قابلیت ریزجلبک‌ها در تصفیه پساب خانگی و پساب صنعتی نمودند. پساب خانگی آنها، یک مزرعه پرورشی آلوده و پساب صنعتی مواد نفتی کف یک کارخانه بود. آنها مخلوطی از ریزجلبک‌ها را شامل

کلرلا ولگاریس می‌تواند داوطلب بالقوه‌ای برای حذف فسفات در تصفیه خانه فاضلاب محسوب شود.

6- تشکر و قدردانی

از همکاری‌های ارزشمند مسئولان محترم دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند به جهت فراهم نمودن امکانات لازم برای انجام این تحقیق و همچنین سرکار خانم غفوری و آقای مهندس رضایی به جهت همکاری‌های لازم در کلیه مراحل آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل داده‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

7- منابع

- [1] Sayadi, M. H., Kargar, R., Doosti, M. R., Salehi, H. (2012) Hybrid constructed wetlands for wastewater treatment: a worldwide review. *Proceedings of the international academy of ecology and environmental sciences*, 2(4), 204-222.
- [2] Sayadi, M. H., Ghatnekar, S. D., Kaviani, M.F. (2011) Algae a promising alternative for biofuel. *Proceedings of the international academy of ecology and environmental sciences*, 1(2), 112-124.
- [3] چنگانی ز، مدرس ع، افشارزاده س، (1390). تصفیه فاضلاب با استفاده از کشت ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس، اولین همایش ملی گیاه پالایی، کرمان.
- [4] Tam, N. F. Y., Wong, Y. S. (2000) Effect of immobilized microalgae bead concentrations on wastewater nutrient removal. *Environmental Pollution*. 107, 145-151.
- [5] Wang, B. L. Christopher Q. (2011) Biomass production and nitrogen and phosphorus removal by the green alga *Neochloris oleoabundans* in simulated wastewater and secondary municipal wastewater effluent. *Bioresource Technology*. 102, 5639-5644.
- [6] Zarouk, C. (1966) Contribution a l'Etude d'une Cyanophyce. Influence de Divers Facteurs Physiques et Chimiques sur las Croissance et la Photosynthese de *Spirulina maxima*, Thesis, University of Paris. France.
- [7] Bashan, L. E., Hernandez, J. P., and Bashan, Y. (2003) Microalgae growth-promoting bacteria

در مطالعه حاضر هر دو گونه ریز جلبک در فاضلاب شهری قادر به رشد بوده‌اند [15]. حذف بالاترین فسفات (92 تا 98 درصد) در مطالعات قبلی به وسیله سلول‌های بی‌حرکت ریزجلبک‌ها صورت گرفت، در حالی که در مطالعه حاضر ریز جلبک کلرلاولگاریس توانست 72/21 از فسفات را حذف کند [17,16,1]. در محیط کشت، سلول‌های آزاد توانستند 30٪ فسفات را بعد از 36 ساعت در آزمایش حذف کنند. در این مطالعه سلول‌های ریز جلبک اسپیرولینا حدود 42/79٪ فسفات را در طی دوره 8 روز حذف کردند. دوماس و همکاران (1998) حذف کامل فسفر توسط *Phormidium bohneri* را گزارش کردند [18]. در تحقیق حاضر غلظت اولیه فسفات در فاضلاب حاوی ریزجلبک کلرلا ولگاریس 50/65 میلی گرم بر کیلوگرم راندمان حذف 72/21 درصد بوده است در حالی که کورنر و ورمات در سال 1997 حذف نیتروژن و فسفر را از فاضلاب خانگی با استفاده از جلبک بررسی کردند. آزمایش‌ها در غلظت‌های متفاوت از فاضلاب و در مدت زمان سه روز انجام شدند. بر اساس غلظت اولیه از نیتروژن به میزان 120-590 میلی‌گرم راندمان حذف نیتروژن بین 73-97 درصدی، و غلظت فسفات اولیه به میزان 14-74 میلی‌گرم، راندمان حذف فسفات 63-99 درصدی مشاهده شده است [19].

5- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر حذف فسفات از فاضلاب با استفاده از ریزجلبک‌های کلرلا ولگاریس و اسپیرولینا پلاتنسیس مورد بررسی و نتیجه‌گیری قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که جلبک دریایی اسپیرولینا پلاتنسیس و کلرلا ولگاریس می‌تواند به عنوان یک جاذب مؤثر برای حذف فسفات از محلول‌های آبی استفاده شوند. مقایسه این دو جلبک نشان داد که ریزجلبک کلرلا ولگاریس دارای بالاترین نرخ کاهش فسفات از فاضلاب است، بنابراین

- [15] زمانی ن، نوشادی م، سیف الله ا، (1388)، حذف نیتروژن نیتراتی و ارتوفسفات از پساب با استفاده از زیست فناوری ریزجلبک‌ها، دومین سمپوزیوم بین‌المللی مهندسی محیط زیست.
- [16] Prouix, D., Lessard, P., de la Noie, J. (1994) Traitement tertiaire d'un effluent domestique secondaire par culture intensive de la cyanobactérie *Phormidium bohneri* Environmental Technology. 15, 449-458.
- [17] Lau, P.S., Tam, N.F.Y., Wong, Y.S. (1997) Wastewater nutrients (N and P) removal by carrageenan and alginate immobilized *Chlorella vulgaris*. Environmental Technology. 18, 945-951.
- [18] Dumas, A., Lalibertk, G., Lessard, P., Noiea, J.D.L. (1998) Biotreatment of fish farm effluents using the cyanobacterium *Phormidium bohneri*. Aquacultural Engineering. 17, 57-68.
- [19] Koerner, S., Vermaat J. E. (1998) The relative Importance of Lemna Gibba L. bacteria and algae for the nitrogen and phosphorous removal in duckweed-covered domestic wastewater treatment. Water Research. 32, 3651-3661.
- as "helpers" for microalgae: a novel approach for removing ammonium and phosphorus from municipal wastewater. First international meeting on microbial phosphate solubilization.
- [8] Crump, C. (1993) Dictionary of environment and development. Cambridge (MA): MIT Press. p. 272.
- [9] HACH, DR/2400 Spectrophotometer Procedure Manual. (2004) Hach Company: USA.
- [10] APHA, AWWA, WEF. (1998) Standard methods for examination of water and waste water, American Public Health Association Publication, Washington DC.
- [11] Tam, N. F.Y. Wong, Y.S. (1996) Effect of ammonia concentrations on growth of *Chlorella vulgaris* and nitrogen removal from media. Bioresource Technology. 57, 59-66.
- [12] Fierro, S. Sanchez-Saavedra, M. D. P, and Copalca, C. (2007) "Nitrate and phosphate removal by chitosan immobilized *scenedemus*. Bioresource Technology. 99(5), 1274-1279.
- [13] Aziz, M.A, Ng. W.J. (1999) Feasibility of wastewater treatment using the activated algae process. Bioresource Technology Volume 40 Issue 3 (available online 2003).
- [14] Aslan, S., Kapdan, I.K. (2006) Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. Ecological Engineering. 28, 64-70.