بررسی تأثیر اکسیژن‌خواهی نیتروژنی و جلبکی در ارزیابی کیفیت پساب خروجی از لاگون‌های با هوادهی

حسن خرسندی[1] رحیمه علیزاده[2] حوریه طوسی‌نژاد[3] هادی پورغفار[4]

(دریافت ۹۱/۸/۳۰ پذیرش ۹۱/۱۱/۲۱)

چکیده

در این مطالعه توصیفی، نمونه‌های پساب خروجی از برکه زلال‌ساز لاگون‌های با هوادهی شهر میاندوآب، بر اساس روشهای استاندارد، در حضور و عدم حضور بازدارنده نیتریفیکاسیون و در حالت صاف‌سازی و بدون صاف‌سازی بررسی شد. نتایج حاصله، به‌روش آنالیز واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر، با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 مورد تحلیل قرار گرفت. آزمون RMANOVA نشـان داد کـه، میـانگین سـالانه اکسیژن‌خواهی پنج روزه بیوشیمیایی و شیمیایی در کلیه زوج گروههای بررسی شده، از اختلاف معنی‌داری برخوردار بوده (P<0.001) و از کل اکسیژن‌خواهی پنج روزه بیوشیمیایی پساب لاگون‌ها (61.02±30.46) ٤٤/٩٧ درصد به‌عنوان اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی کربنه پـنج روزه جلبکی، ٤٣/٥٨ درصد آن به‌عنوان اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی پنج روزه نیتروژنی، و ١١/٤٥ درصد آن به‌عنـوان اکسـیژن‌خـواهی بیوشیمیایی کربنه پنج روزه محلول می‌باشند. آزمون‌های همبستگی مشخص نمود که اکسیژن‌خواهی شیمیایی جلبکی و اکسیژن‌خـواهی بیوشیمیایی کربنه پنج روزه جلبکی، با مواد معلق همبستگی مستقیم داشته و ضرایب همبستگی آنها به‌ترتیب ٠/٨٧ و ٠/٤٧ است و آنالیز واریانس نیز همبستگی‌های مذکور را تأیید نمود (P<0.001). بنابراین، عدم توجه به اکسیژن‌خواهی نیتروژنی و جلبکی، صحت ارزیـابی کیفیت پساب لاگون‌ها و تفسیر عملکرد تصفیه‌خانه را دچار ابهام می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تصفیه فاضلاب، جلبک، نیتریفیکاسیون، لاگون هوادهی، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی

Investigation of Nitrogenous and Algal Oxygen Demand Effect on Quality Evaluation of Effluent from Aerated Lagoons

H. Khorsandi[1] *R. Alizadeh[2]*
H. Toosinejad[3] *H. Pourghafar[4]*

(Received Nov. 20, 2012 Accepted Feb. 9, 2013)

Abstract

In this descriptive study, samples of the effluent from the maturation pond following the Miandoab aerated lagoons were measured in accordance with Standard Methods. The measurements were done with and without filtration in the presence and absence of nitrification inhibitor. The results were analyzed using repeated measures analysis of variance by SPSS version 16. The analysis of variance indicated significant differences in the annual mean five-day biochemical and chemical oxygen demand within paired groups (P <0.001). These findings showed that the annual mean of total five-day biochemical oxygen demand in the effluent from aerated lagoons (61.02±30.46) consisted of 44.97% as the algal carbonaceous biochemical oxygen demand, 43.58% as the nitrogenous biochemical oxygen demand and 11.45% as the soluble carbonaceous biochemical

۱- استادیار مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه (نویسنده مسئول) ۲۷۵۲۳۰۱ (۰۴۴۲)
hassankhorsandi@yahoo.com
۲- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی، ارومیه
۳- کارشناس شیمی، شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی، ارومیه
٤-کارشناس مهندسی شیمی، آزمایشگاه تصفیه‌خانه فاضلاب، میاندوآب

1. Assist. Prof. of Social Determinants of Health Research Center and Environmental Health Eng. Dept., Urmia Medical Sciences University, Urmia, Iran (Corresponding Author) (+98 442) 2752301
hassankhorsandi@yahoo.com
2. M.Sc. of Environmental Health Eng., West Azarbayejan Water and Wastewater Co., Urmia
3.B.S. of Chemistry, West Azarbayejan Water and Wastewater Co., Urmia
4.B.S. of Chemical Eng., Wastewater Treatment Lab., Miandoab

using analysis of variance (P<0.001). Thus, quality evaluation of lagoon effluent without considering the nitrogenous and the algal oxygen demand would undermine the effluent quality assessment and interpretation of the performance of wastewater treatment plant.

Keywords: Wastewater Treatment, Algae, Nitrification, Aerated Lagoon, Biochemical Oxygen Demand.

۱- مقدمه

کل اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی فاضلاب[1]، از مجموع اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی کربنی[2] و نیتروژنی[3] تشکیل شده است. بر خلاف اکسیژن‌خواهی کربنی، که نسبت مستقیم با غلظت ترکیبات آلی کربنه قابل تجزیه بیولوژیکی دارد، اکسیژن‌خواهی نیتروژنی، با تعداد میکروارگانیسم‌های نیتریفایر در نمونه مورد آزمایش متناسب است. به‌طور معمول، به‌دلیل سرعت کم رشد نیتریفایرها، همواره فرض بر این است که در آزمایش اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی پنج روزه[4]، اکسیژن‌خواهی نیتریفیکاسیون نقشی ندارد [۴-۱]. گرچه فرض در رابطه با فاضلاب شهری تصفیه نشده صحیح است، ولی در رابطه با فاضلاب تصفیه شده، به‌ویژه پساب لاگون‌های هوادهی صادق نیست، زیرا BOD_5 پساب خروجی از لاگون‌های هوادهی اغلب دارای NBOD نیز هست [۴].

بر اساس موارد فوق، آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا[5]، استفاده از مواد بازدارنده نیتریفیکاسیون را در آزمایش‌های BOD_5 مجاز اعلام نموده و به‌جای BOD_5، شاخص $CBOD_5$[6] را برای ارزیابی کیفیت پساب خروجی از تصفیه ثانویه خصوصاً برکه‌های تثبیت و لاگون‌های هوادهی توصیه کرده است [۴ و ۵].

بر اساس پیشنهاد این سازمان، میانگین روزانه $CBOD_5$ پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌ها، در یک پریود یک ماهه، حداکثر ۲۵ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است. با این حال، با توجه به وسیع بودن دامنه تغییرات NBOD در پساب برکه‌ها (۵۰-۵ میلی‌گرم در لیتر)، در صورت عدم توجه به اثر تداخل آن بر مقدار BOD_5، تفسیر نتایج حاصله، غالباً با چالش‌های جدی روبرو می‌شود [۱، ۴ و ۵].

هال و فاکسن با مطالعه خویش در سال ۱۹۸۳، دلیل ۶۰ درصد از موارد نقض حداکثر مقدار مجاز BOD_5 در پساب خروجی از لاگون‌های هوادهی را نیتریفیکاسیون معرفی نموده‌اند [۶]. در این راستا، وقوع و تداخل نیتریفیکاسیون در آزمایش BOD_5، توسط محققان مختلف مورد مطالعه و تایید قرار گرفته است [۱۰-۷].

علاوه بر آن، بخش قابل توجهی از $CBOD_5$ موجود در پساب نهایی لاگون‌ها، ناشی از جلبک‌هایی است که در لاگون رشد و تکثیر می‌یابند، در صورتی که جریان ورودی به لاگون، فاقد آنها است [۴، ۵ و ۱۱].

جلبک‌ها گیاهانی فتوسنتتیک و دارای کلروفیل هستند که در آب، هوا، خاک و بر روی گیاهان یافت می‌شوند. اسپور میکروسکوپی جلبک‌ها، توسط باد جابجا شده و با ورود به منابع آبی، در حضور نور آفتاب و دمای بیش از ۴ درجه سلسیوس به سرعت رشد می‌کنند. رشد جلبک رابطه مستقیم با غلظت نیتروژن و فسفر محیط آبی دارد [۱۱ و ۱۲]. فاضلابهای شهری حاوی مقادیر اضافی ازت و فسفر هستند، لذا تصفیه آنها در سیستم‌های لاگونی با زمان ماند هیدرولیکی طولانی، شرایط مناسبی برای رشد و تکثیر جلبک‌ها فراهم می‌آورد [۱۱].

معمولاً جلبک‌ها بیش از ۸۰ درصد مواد جامد معلق[7] پساب لاگون‌های هوادهی را تشکیل می‌دهند، در نتیجه بخش قابل توجهی از BOD_5 و COD پساب خروجی از لاگون‌های هوادهی به‌دلیل تداخل ناشی از حضور جلبک‌ها می‌باشد [۴ و ۵].

ریچ در سال ۱۹۹۹ تداخل ناشی از جلبک‌ها را بر پارامترهای TSS، COD و BOD_5 در پساب لاگون‌های هوادهی مورد بررسی قرار داده و و به این نتیجه رسید که استاندارد ۲۵ میلی‌گرم در لیتر برای $CBOD_5$ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر برای TSS پساب خروجی از این لاگون‌ها، به‌دلیل داشتن جلبک به‌ندرت تأمین می‌شود [۴].

به‌منظور ارزیابی صحیح کیفیت پساب لاگون‌ها و تحلیل‌های مستند برای بهره‌برداری کارشناسانه از آنها، استخراج میزان تأثیر نیتریفیکاسیون و اکسیژن مورد نیاز جلبکی بر $TBOD_5$ و COD ضروری است. از طرفی برابر بررسی‌های انجام یافته، هیچگونه مطالعه‌ای در داخل کشور در این خصوص منتشر نشده و مطالعات معدود خارجی نیز صرفاً حاوی یکسری نتایج کلی بوده و فاقد هر گونه تحلیل آماری می‌باشند. لذا هدف از مطالعه حاضر، بررسی تأثیر اکسیژن‌خواهی نیتروژنی و جلبک در کنترل کیفیت پساب خروجی از لاگون‌ها است.

۲- مواد و روشها

در این مطالعه توصیفی، ۱۲۰ نمونه طی یک دوره یک ساله (از تیر ماه ۱۳۸۸ الی خرداد ۱۳۸۹) به‌صورت لحظه‌ای و با دوره تکرار

[1] Total Biochemical Oxygen Demand (TBOD)
[2] Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand (CBOD)
[3] Nitrogenous Biochemical Oxygen Demand (NBOD)
[4] 5-day Biochemical Oxygen Demand (BOD_5)
[5] US Environmental Protection Agency (USEPA)
[6] 5-day CBOD
[7] Total Suspended Solids (TSS)

هفت تا ده روزه در ساعات ۸، ۱۲ و ۱۸ از خروجی برکه جلادهی به‌عنوان زلالساز تصفیه‌خانه فاضلاب شهر میاندوآب بر اساس روشهای استاندارد تهیه شد و به شیوه مداخله‌ای مورد بررسی قرار گرفت [۱۳]. تصفیه‌خانه فاضلاب میاندوآب از نوع لاگون هوادهی اختیاری با اختلاط ناقص است که به‌دلیل عدم تکمیل شبکه جمع‌آوری فاضلاب، با ۵۰ درصد دبی طراحی بهره‌برداری می‌شود که این امر سبب دو برابر شدن زمان ماند هیدرولیکی، رشد جلبک و و انجام نیتریفیکاسیون در لاگون‌ها می‌شود.

کلیه آزمایش‌ها مطابق روشهای استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام شد [۱۴]. ماده الیل تیوره[1] به‌عنوان بازدارنده نیتریفیکاسیون استفاده شد و برای صاف‌سازی نمونه‌ها از صافی ۰/۵ میکرومتر نوع MN 89/90 مورد استفاده قرار گرفت.

به‌منظور تعیین اکسیژن مورد نیاز شیمیایی جلبکی[2]، آزمایش COD در حالتهای صاف شده و صاف نشده انجام شد و برای بررسی تداخل اکسیژن خواهی بیوشیمیایی مواد نیتروژنه و جلبک در ارزیابی کیفی پساب، آزمایش BOD_5 در حالتهای زیر انجام گرفت و نتایج حاصله، به‌روش آنالیز واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر[3] با استفاده از نرم افزار SPSS 16 مورد مقایسه قرار گرفتند:

۱- نمونه صاف شده و بدون ماده بازدارنده نیتریفیکاسیون؛
۲- نمونه صاف شده و حاوی ماده بازدارنده نیتریفیکاسیون؛
۳- نمونه صاف نشده و بدون ماده بازدارنده نیتریفیکاسیون؛
۴- نمونه صاف نشده و حاوی ماده بازدارنده نیتریفیکاسیون.

۳- نتایج و بحث

این مطالعه به منظور تأثیر $NBOD_5$[4] و اکسیژن خواهی شیمیایی و بیوشیمیایی پنج روزه جلبکی[5] در ارزیابی کنترل کیفیت پساب خروجی از لاگون‌های با هوادهی انجام شد.

برای تأمین این هدف، کیفیت پساب خروجی از زلال‌ساز لاگون با هوادهی شهر میاندوآب، طی ۱۲۰ بار نمونه‌برداری در طول یک سال مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج میانگین ماهانه پارامترهای کنترل کیفی در جدول ۱ ارائه شده‌اند. همانطور که ملاحظه می‌شود علاوه بر اکسیژن محلول[6]، pH، دما و TSS، حالتهای مختلفی از BOD_5 و COD نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

مقایسه نتایج BOD_5 نمونه صاف نشده بدون ماده بازدارنده ($nfBOD_5$-nATU)[7]، و BOD_5 نمونه صاف نشده حاوی ماده بازدارنده ($nfBOD_5$-ATU)، نمایانگر تاثیر نیتریفیکاسیون ناقص در نتایج آزمایش‌های BOD_5 در حضور جلبک است.

مقایسه BOD_5 نمونه صاف شده بدون ماده بازدارنده ($fBOD_5$-nATU) ، و BOD_5 نمونه صاف شده حاوی ماده بازدارنده ($fBOD_5$-ATU)، نمایانگر تاثیر نیتریفیکاسیون ناقص در نتایج آزمایش‌های BOD_5 در عدم حضور جلبک است.

مقایسه BOD_5 نمونه صاف نشده حاوی ماده بازدارنده ($nfBOD_5$-ATU)، و BOD_5 نمونه صاف شده حاوی ماده بازدارنده ($fBOD_5$-ATU)، نمایانگر میزان تأثیر جلبک در آزمایش BOD_5 ، بدون حضور فعالیت باکتری‌های نیتریفایر است. با عنایت به ناچیز بودن مواد جامد معلق غیر جلبکی در پساب خروجی از زلالساز برکه‌های تثبیت، ماهیت TSS در همه نمونه‌های برداشتی از پساب زلالساز، به‌صورت جلبکی در نظر گرفته شد.

مقایسه BOD_5 نمونه صاف نشده بدون ماده بازدارنده ($nfBOD_5$-nATU)، با BOD_5 نمونه صاف شده حاوی ماده بازدارنده ($fBOD_5$-ATU)، نمایانگر تأثیر همزمان جلبک و نیتریفیکاسیون در آزمایش BOD_5 است.

با وجود رنگ سبز پساب و مشاهدات میکروسکوپی که تأییدکننده حضور جلبکها در پساب خروجی از زلال ساز بود، ۷ مورد آزمایش کلروفیل a در طول سال از پساب خروجی از زلال‌ساز تصفیه‌خانه فاضلاب شهر میاندوآب انجام گرفت که میانگین نتایج حاصله، ۳۴۵ میکروگرم در لیتر بود.

مطابق جدول ۲، آزمون آنالیز واریانس RMANOVA نشان داد که اختلاف میانگین سالانه BOD_5 در چهار گروه مطالعه شده، به‌طور کلی معنی‌دار بوده ($P<0.001$)، و میانگین‌های ماهانه هر یک از گروهها نیز اختلاف کلی معنی‌داری داشتند ($P<0.001$). با این توصیف، تأثیر متقابل ماهیت کیفیتی نمونه و زمان مورد بررسی بر روی نتایج BOD_5 مورد تأیید قرار گرفت ($P<0.001$).

بر اساس آزمون مقایسه زوجی در بین گروههای چهارگانه به‌روش آنالیز واریانس RMANOVA، اختلاف میانگین BOD_5 کلیه زوج گروهها معنی‌دار بود ($P<0.001$)؛ که از این میان، نتایج زوج گروههای مورد بحث، در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

طبق یافته‌های ارائه شده در جدول ۱، میانگین سالانه $nfBOD_5$-nATU به‌عنوان شاخص $TBOD_5$[8] ، ۶۱/۰۲ میلی‌گرم در لیتر تعیین شد. با توجه به توضیحات بالا، میانگین سالانه $TBOD_5$ در خروجی نهایی لاگون‌ها، از مجموع میانگین سالانه BOD_5 کربنی محلول، جلبکی و نیتروژنی تشکیل شده است.

[1] Allylthiorea [ATU ($C_4H_8N_2S$)]
[2] Algal COD
[3] Repeated Measures ANOVA (RMANOVA)
[4] 5-day NBOD
[5] Algal $CBOD_5$
[6] Dissolved Oxygen (DO)
[7] Non filtered BOD_5- Non Allylthiorea
[8] Total BOD_5

جدول۱- میانگین پارامترهای کیفیت پساب خروجی از برکه زلالساز لاگون‌های با هوادهی شهر میاندوآب در ماههای مختلف

Mean ± Std. Deviation

ماه	N	DO (mg/L)	pH	Temp. (°C)	TSS (mg/L)	fCOD (mg/L)	nfCOD (mg/L)	$fBOD_5$-NATU	$fBOD_5$-ATU	$nfBOD_5$-ATU	$nfBOD_5$-nATU
جولای ۲۰۰۹	۱۸	۱/۲۳±۰/۹۳	۷/۷۶±۰/۱۲	۲۵/۲±۱/۳۳	۸۴/۹±۲۲/۵۹	۶۴±۷/۳۷	۱۲۰/۷۷±۲۴/۲۴	۱۸/۸۳±۳/۰۹	۱۱/۹۴±۱/۸۶	۵۸/۰۵±۷/۱۰	۱۰۴/۱۶±۲۹/۱۷
آگوست ۲۰۰۹	۶	۴/۱۴±۳.۴۲	۷/۹۶±۰/۱۲	۲۴/۳۸±/۸۹	۵۱/۱۲±۲۲/۶۱	۶۳/۲۵±۵/۶۹	۹۸/۰۳±۱۷/۵۴	۹±۲/۶۸	۸/۸۳±۲/۵۶	۳۳/۰۰±۹/۳۴	۶۰/۶۷±۲۱/۴۴
سپتامبر ۲۰۰۹	۹	۳/۱۹±۱/۴۵	۷/۹۶±۰/۱	۲۴/۰۸±۰/۸۵	۴۵/۶۲±۲/۸۸	۷۱/۸۸±۴/۵۷	۸۶/۴۷±۳/۰۷	۹/۳۳±۲/۰۱	۸/۳۳±۲/۰۱	۱۹/۴۲±۲/۰۶	۲۶/۳۳±۸/۸
اکتبر ۲۰۰۹	۶	۶/۸۸±۱/۷۴	۸/۱۹±۰/۰۵	۱۹/۰۳±۱/۲۹	۵۷/۱±۱۰/۰۸	۵۵/۴۷±۹/۷۴	۸۹/۳۷±۶/۸۶	۷/۵±۳/۷۸	۵/۶۷±۱/۶۶	۲۱/۵±۷/۷۹	۳۴±۱۲/۱۵
نوامبر ۲۰۰۹	۱۲	۷/۶۹±۱/۳۸	۸/۲۴±۰/۱	۱۶/۳±۱/۱۵	۶۰/۶۱±۱۲/۰۷	۶۶/۵۵±۲/۹۶	۱۰۰/۶۹±۱۰/۲۴	۵/۵۵±۰/۸۸	۴/۸۹±۰/۹۳	۲۷/۷۸±۴/۸۴	۴۱/۳۳±۵/۲۹
دسامبر ۲۰۰۹	۱۲	۱۲/۱۲±۱/۹۹	۸/۳۳±۰/۱۳	۱۰/۳۶±۱/۳۸	۶۵/۸۴±۸/۶۸	۶۵/۹۷±۹/۷۲	۱۱۰/۴۲±۱۲/۳۸	۵/۸۳±۲/۷۶	۴/۷۵±۱/۹۱	۲۲/۲۵±۳/۶۷	۳۱/۷۵±۷/۲
ژانویه ۲۰۱۰	۱۲	۱۲/۸۹±۱/۲	۸/۳۸±۰/۱۲	۹/۸۱±۱/۲۷	۸۷/۸±۴/۵۳	۴۶/۰۳±۶/۲۲	۱۳۲/۲۵±۷/۹۰	۴/۴۲±۰/۵۱	۳/۵۸±۰/۷۹	۲۲/۷۵±۰/۹۶	۵۷/۶۷±۵/۰۳
فوریه ۲۰۱۰	۹	۱۱/۶۶±۱/۳۷	۸/۳۴±۰/۰۷	۸/۸۳±/۸	۸۵/۹۷±۳/۸۹	۳۶/۸۳±۴/۸۲	۱۲۸/۷۴±۴/۷۶	۵/۲۲±۱/۰۹	۴/۵۵±۰/۸۸	۲۷/۴۴±۲/۱۸	۵۵/۱۱±۱۱/۵۴
مارس ۲۰۱۰	۹	۱۰/۵۶±۰/۹۵	۸/۳۵±۰/۱	۹/۵۵±/۶۸	۹۱/۲۲±۲/۹۵	۴۳/۹±۵/۶۳	۱۴۳/۶۵±۶/۲۴	۶/۶۷±۰/۷۱	۵/۷۸±۰/۸۳	۳۳/۳۳±۴/۵۵	۵۰/۲۲±۱۹/۰۱
آپریل ۲۰۱۰	۹	۸/۶۴±۲/۶۲	۸/۲۷±۰/۱۸	۱۳/۵۸±۲/۸۶	۱۰۶/۳۱±۱۳/۸	۵۰/۷±۵/۶۳	۱۶۲/۷۸±۱۸/۱۹	۶/۳۳±۱/۶۶	۵/۶۷±۱/۶۶	۳۶/۸۹±۷/۰۸	۵۵/۷۸±۵/۹۵
می ۲۰۱۰	۹	۲/۸±۱/۶۱	۷/۹۳±۰/۱۷	۱۹/۲۱±۲/۴۷	۸۷/۶۴±۱۴/۳۷	۴۸/۶۷±۶/۱۴	۱۵۴/۳۹±۱۲/۰۸	۸/۴۴±۱/۲۴	۸/۴۴±۲/۱۳	۴۶/۲۲±۸/۳۹	۹۰/۶۷±۹/۵۶
ژوئن ۲۰۱۰	۹	۵/۰۹±۳/۹۱	۷/۸۷±۰/۱۱	۲۳/۷۶±۲/۷	۷۲/۶۲±۱۰/۵۲	۴۶/۷۱±۸/۲۴	۱۱۴/۵±۲۷/۰۹	۱۲/۷۸±۴/۰۸	۹/۱۱±۱/۲۷	۴۹/۱۱±۶/۵۶	۹۴/۶۷±۳/۰۰
مجموع	۱۲۰	۷/۰۴±۴/۵۸	۸/۱۱±۰/۲۶	۱۷/۲۲±۶/۶۴	۷۵/۹۰±۲۱/۳۶	۵۵/۹۳±۱۲/۵۳	۱۲۰/۷۵±۲۶/۹۷	۸/۹۸±۵/۳۶	۶/۹۹±۳/۱۶	۳۴/۴۳±۱۴/۳۹	۶۱/۰۲±۳۰/۴۶

جدول ۲- آزمون‌های بررسی تفاوت کلی بین گروههای چهارگانه BOD_5، تغییرات میانگین ماهانه آنها و تأثیر متقابل بین BOD_5 و زمان به روش آنالیز واریانس RMANOVA

P-value	df_2	df_1	F	Sourse
<0.001	۳۲۴	۳	۱۱۱۹/۲	Kinds of BOD_5
<0.001	۱۰۸	۱۱	۶۳/۰۶۸	Month
<0.001	۳۲۴	۳۳	۲۴/۸۸۱	Kinds of BOD_5 * Month

جدول ۳- آزمون‌های مقایسه زوجی انواع BOD_5 به روش آنالیز واریانس RMANOVA

P-value	Mean Difference (I-J)	(J)Factor	(I)Factor
<0.001	۲۶/۶۹	$nfBOD_5$-ATU	$nfBOD_5$-nATU
<0.001	۲۷/۴۴	$fBOD_5$-ATU	$nfBOD_5$-ATU
<0.001	۵۴/۰۳	$fBOD_5$-ATU	$nfBOD_5$-nATU
<0.001	۱/۹۹	$fBOD_5$-ATU	$fBOD_5$-nATU

بر این اساس، از کل این مقدار، ۲۷/۴۴ میلی‌گرم در لیتر (۴۴/۹۷ درصد) به‌عنوان میانگین سالیانه $CBOD_5$ Algal، ۲۶/۵۹ میلی‌گرم در لیتر (۴۳/۴۸درصد) به‌عنوان میانگین سالانه $TNBOD_5$، و ۶/۹۹ میلی‌گرم در لیتر (۱۱/۴۵درصد) به‌عنوان BOD_5 کربنه محلول[1] می‌باشند.

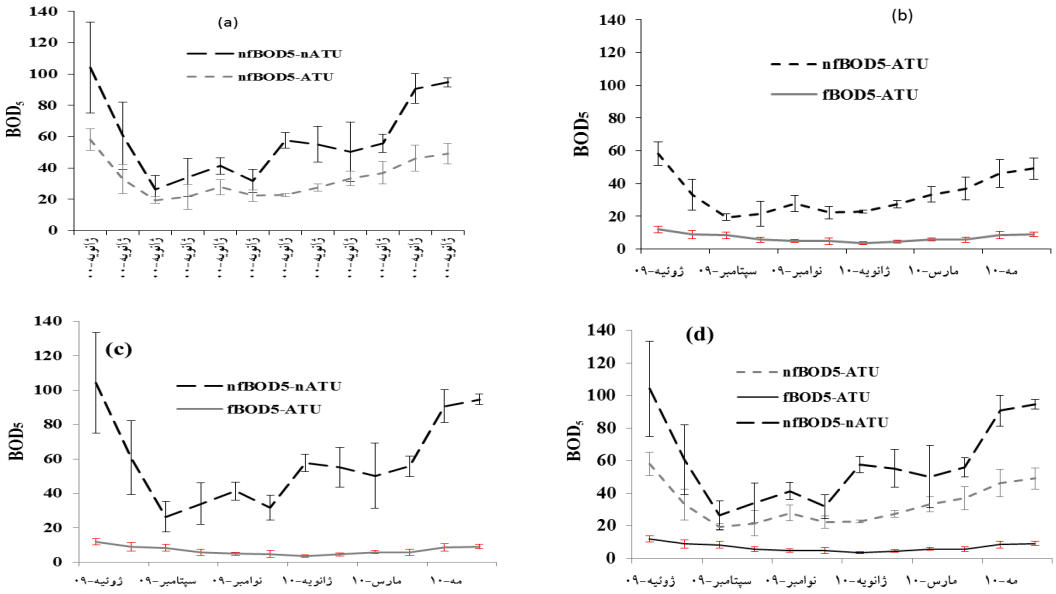
نتایج تغییرات میانگین ماهانه انواع BOD_5 به‌منظور تعیین میزان تأثیر اکسیژن خواهی نیتریفیکاسیون و جلبک و اثر همزمان آنها بر نتایج BOD_5 در شکل ۱ نشان داده شده است.

آزمون آنالیز واریانس RMANOVA طبق جدول۴، نشان داد که میانگین سالانه COD صاف شده[2] و صاف نشده[3]، اختلاف معنی‌داری داشته (P<0.001) و میانگین‌های ماهانه هر یک از این گروهها نیز از اختلاف کلی معنی‌داری برخوردار بودند (P<0.001). در نهایت، تأثیر متقابل ماهیت کیفیتی نمونه و زمان، بر روی COD تأیید شد (P<0.001).

[1] Soluble Carbonaceous BOD_5 ($sCBOD_5$)

[2] Filtered COD (fCOD)

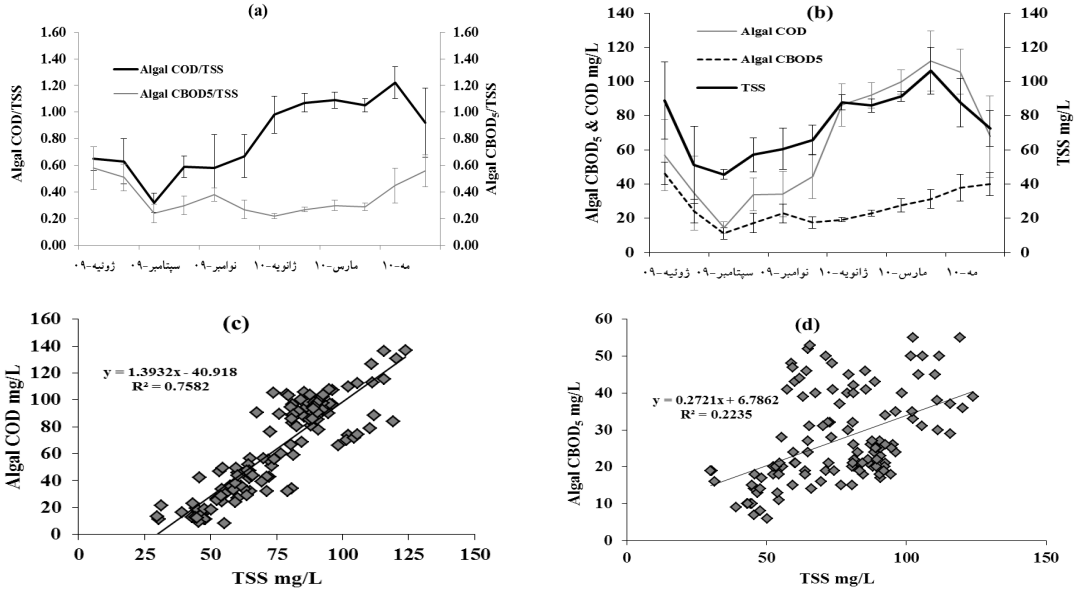
[3] Non-filtered COD (nfCOD)



شکل ۱- مقایسه میانگین ماهانه انواع BOD_5 پساب خروجی از برکه زلال‌ساز تصفیه خانه فاضلاب میاندوآب، (a) اثر نیتریفیکاسیون روی BOD_5، (b) اثر جلبک روی BOD_5، (c) تأثیر همزمان جلبک و نیتریفیکاسیون روی BOD_5، (d) مقایسه اثر جلبک و نیتریفیکاسیون روی BOD_5

جدول ۴- آزمون‌های بررسی اختلاف کلی بین میانگین‌های fCOD و nfCOD ، تغییرات میانگین ماهانه آنها و تأثیر متقابل COD و زمان به روش آنالیز واریانس RMANOVA

P-value	df_2	df_1	F	Sourse
<0.001	۱۰۸	۱	۲۰۵۹	Kinds of COD
<0.001	۱۰۸	۱۱	۱۰/۱۱۲	Month
<0.001	۱۰۸	۱۱	۴۵/۶۹۸	Kinds of COD * Month



شکل ۲- بررسی تغییرات و همبستگی $Algal\ CBOD_5$ با TSS

شکل ۲ ، روند تغییرات میانگین ماهانه COD صاف شده، CODصاف نشده و TSS خروجی از زلال‌ساز را طی دوره یک‌ساله نشان می‌دهد. علاوه براین، میانگین ماهانه نسبت BOD و COD جلبکی به TSS نیز در این شکل نشان داده شده است

طبق یافته‌های حاصل از این مطالعه، میانگین سالانه Algal COD/TSS و $Algal\ CBOD_5$/TSS به‌ترتیب برابر ۰/۸ mg Algal COD/mg TSS و ۰/۳۶۸ mg Algal $CBOD_5$/mg TSS می‌باشند. آزمون‌های همبستگی نشان دادند که Algal COD و $Algal\ CBOD_5$ با TSS همبستگی مستقیم مثبت داشته و ضرایب همبستگی آنها با تأیید آنالیز واریانس ANOVA، به‌ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۴۷ است (P<0.001).

در این مطالعه، میانگین سالانه کل اکسیژن خواهی شیمیایی و بیوشیمیایی پنج روزه ورودی به تصفیه‌خانه، به‌ترتیب ۷۱/۲ ± ۵۰۱/۵ و ۳۵/۶ ± ۳۰۹ و میانگین آنها در پساب خروجی به‌ترتیب ۲۶/۹۷ ± ۱۲۰/۷۵ و ۳۰/۴۶ ± ۶۱/۰۲ تعیین شد. به این ترتیب، راندمان تصفیه‌خانه مورد مطالعه، بر اساس کل اکسیژن خواهی شیمیایی و بیوشیمیایی پنج روزه پساب خروجی نهایی از لاگون‌ها، به‌ترتیب ۷۵/۹۲ و ۸۰/۲۵ درصد استخراج شد. این در حالی است که طبق نتایج حاصله، نیتریفیکاسیون و اکسیژن مورد نیاز جلبکی به میزان قابل توجهی کیفیت پساب خروجی از لاگون‌های با هوادهی را تحت تأثیر قرار داده‌اند.

با عنایت به زمان ماند طولانی در لاگون‌ها، مقدار $sCBOD_5$ و مواد جامد غیرجلبکی در پساب زلال‌ساز لاگون‌های هوادهی، کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و عملاً بخش عمده TSS و $CBOD_5$ این پساب‌ها، ناشی از رشد جلبک‌ها است. از طرف دیگر، به‌دلیل فراهم بودن شرایط رشد نیتریفایرها، $TNBOD_5$، بخش قابل توجهی از $TBOD_5$ پساب لاگون‌ها را تشکیل می‌دهد. به‌همین دلیل، پارامتر $TBOD_5$ برای ارزیابی کیفیت پساب فرایندهای تصفیه ثانویه خصوصاً برکه‌های تثبیت و لاگون‌ها، به‌عنوان یک پارامتر مبهم تلقی گردیده و به‌جای آن طبق موافقت EPA از $CBOD_5$ نمونه‌های فیلتر شده استفاده می‌شود [۴ و ۵].

$fCBOD_5$ و fCOD پساب خروجی از لاگون‌ها برای تخلیه به آبهای سطحی، در کشورهای عضو اتحادیه اروپا، به‌ترتیب ۲۵ mg/L ≥ و 125 mg/L≤ در نظر گرفته شده، لکن مقدار TSS در نمونه‌های فیلتر نشدهٔ پساب خروجی از لاگون‌ها، حداکثر می‌تواند به ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر برسد[۵].

علی‌رغم اصل بهبود و افزایش راندمانِ فعالیت بیولوژیکی در فصلهای گرم سال، مطابق شکل ۱، میانگین $TBOD_5$ در پساب

برکه‌های تثبیت، به‌دلیل فراهم بودن رشد جلبک و نیترفایرها در ماههای گرم، بیشتر از ماههای سرد بود. این نتیجه، در صورت عدم تحلیل کارشناسی، ممکن است به طراحی و اپراتوری نامناسب تصفیه‌خانه نسبت داده شود.

بررسی نتایج پارامترهای کیفی در پساب خروجی از برکه جلادهی، بعد از لاگون‌های مورد مطالعه، بر اساس جدول ۱ و شکل ۱، نشان داد که اکسیژن‌خواهی مواد نیتروژنه و جلبک، باعث افزایش $TBOD_5$ و COD پساب خروجی می‌شود. به‌طوری که با توجه به نتایج حاصله، میانگین سالانه $sCBOD_5$ در پساب خروجی از برکه جلادهی ۶/۹۹ میلی‌گرم در لیتر بود. لکن Algal $CBOD_5$ و $TNBOD_5$ به‌ترتیب با میانگین سالانه ۲۷/۴۴ میلی‌گرم در لیتر و ۲۶/۵۹ میلی‌گرم در لیتر، میانگین سالانه $TBOD_5$ را به ۶۱/۰۲ میلی‌گرم در لیتر افزایش داده‌اند. کلیات این نتایج با یافته‌های ریچ در سال ۱۹۹۹ همخوانی دارد [۴]. البته در مطالعه ریچ آنالیز آماری خاصی مورد استفاده قرار نگرفته و نتایجی در مورد پارامترهای Algal COD و $sCBOD_5$ ارائه نشده است.

بر اساس جدول ۱ و شکل ۲، میانگین سالانه fCOD در پساب خروجی از برکه زلالساز، ۵۵/۹۳ میلی‌گرم در لیتر بود؛ اما COD جلبکی با میانگین سالانه ۶۴/۸۲ میلی‌گرم در لیتر، میانگین سالانه COD کل را به ۱۲۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش داده است، به‌طوری که ۵۳/۶۸ درصد از COD کل، به COD جلبکی اختصاص یافته است.

البته، ماهیت BOD_5، COD و TSS جلبکی با ماهیت این پارامترها در فاضلاب خام متفاوت است، زیرا در یک منبع آب پذیرنده، اکسیژن تولیدی به‌وسیله جلبک‌ها از میزان اکسیژنی که توسط خود جلبکها و گونه‌های عالی‌تر جانوری مصرف می‌شود، بیشتر است. با این حال، در استانداردهای کشوری، به نحوه ارزیابی پسابهای نیتریفای شده حاوی جلبک، اشاره‌ای نشده است و بعضاً به‌دلیل عدم آگاهی از ماهیت اکسیژن خواهی شیمیایی و بیوشیمیایی جلبکی و نیتروژنی و TSS جلبکی، کیفیت پساب جلبکی لاگون‌های با هوادهی، نامطلوب تلقی شده و بدون توجه به کاربرد این پسابها در کشاورزی، اصلاح و یا ارتقاء فرایند تصفیه‌خانه‌ها مد نظر قرار می‌گیرد. در صورتی که جلبک‌ها در حذف نیتروژن، فسفر و فلزات سنگین از فاضلاب مؤثر بوده و برای زمین‌های کشاورزی نیز مفید هستند و با گذشت زمان، محتویات آلی خاک و در نتیجه ظرفیت نگهداری آب را در خاک افزایش می‌دهند [۴].

برای نشان دادن نقش جلبکها در پارامترهای ارزیابی پساب خروجی از برکه‌های تثبیت، اسپرلینگ در مطالعات خود نسبت Algal COD/TSS و Algal $CBOD_5$/TSS را در پساب خروجی از برکه‌های تثبیت به‌ترتیب ۱-۱/۵ mg COD/mg TSS و ۰/۳-۰/۴ mg BOD_5/mg TSS اعلام نموده است [۱۵].

براساس شکل ۲ ، میانگین سالانه Algal COD/TSS و Algal $CBOD_5$/TSS به‌ترتیب برابر ۰/۸ mg Algal COD/mg TSS و ۰/۳۶۸ mg Algal $CBOD_5$/mg TSS است که با نتایج اسپرلینگ همخوانی دارند.

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، از مطالعه حاضر نتیجه‌گیری می‌شود که برای تفسیر صحیح گزارشهای ارزیابی کیفی پساب خروجی از برکه‌های تثبیت و لاگون‌های با هوادهی، در شرایط عادی باید پارامترهای $fCBOD_5$، fCOD و TSS به‌طور دائمی طبق برنامه های بهره‌برداری مورد سنجش قرار گیرد، ولی در صورت نیاز به تحلیل کارشناسی بیشتر به‌منظور بررسی دقیق عملکرد تصفیه‌خانه و یا استفاده مجدد از پساب، تعیین مقدار خصوصیات کیفی Algal $CBOD_5$، $TNBOD_5$ و مقدار کلروفیل a نیز ضروری است.

۵- قدردانی

از همکاری و مساعدت مدیر عامل، معاون بهره‌برداری و مدیر دفتر فاضلاب شهری شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی، به‌ترتیب آقایان مهندس آقازاده، مهندس شمچی و مهندس حیدرلو صمیمانه قدردانی و تشکر می‌شود.

۶- مراجع

1. Tchobanoglus, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D. (2003). *Wastewater engineering (Treatment and reuse)*, 4th Ed., McGraw- Hill Inc.
2. Gerardi, M.H. (2002). *Nitrification and denitrification in the activated sludge process*, Wiley-Interscience, New York.
3. Bitton, G. (1999). *Wastewater microbiology*, Wiley liss, N.Y.
4. Rich, L. G. (1999). *High performance aerated lagoon systems*, American Academy of Environmental Engineers, Annapolis MD.

5. Mara, D., and Pearson, H. (1998). *Design manual for waste stabilization ponds in mediterranean countries*, Lagoon Technology International Ltd., Leeds, England.
6. Hall, J.C., and Foxen, R. J. (1983). " Nitrification in the BOD test increases POTW noncompliance." *J. Wat. Pollut. Control Fed*., 55(12), 1461-1469.
7. Yong, J. C. (1973). "Chemical methods for nitrification control." *J. Wat. Pollut. Control Fed*., 45(4), 637-646.
8. Barth, E. F. (1981). "To inhibit or not to inhibit: That is the question." *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, 53(11), 1651-1652.
9. Dague, R. E. (1981). "Inhibition of nitrogenous BOD and treatment plant performance evaluation." *J. Wat. Pollut. Control Fed*., 53(12), 1738-1741.
10. Chapman, K., James, H., and Muirhead, W. (1991). "Minimizing the impact of nitrification in the BOD_5 test." *Operations Forum*, 8(9), 1-11.
11. Ramaraj, R., Tsai, D. D.W., and Chen, P. H. (2010). "Algae growth in natural water resources." *J. of Soil and Water Conservation*, 42 (4), 439-450.
12. Griffith S., and Erick, W. (2009). "Removal and utilization of wastewater nutrients for algae biomass and biofuels." All Graduate Thesis and Dissertations, Utah State University, Paper 631.
13. Federation of Canadian Municipalities and National Research Council. (2004). *Optimization of lagoon operation*, NRC.CNRC, Canada, 13-15.
14. APHA, AWWA, WEF. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21st Ed., New York.
15. Sperling.M.V.(2007). *Waste stabilization ponds*, IWA, UK.