بهبود فعالیت میکروارگانسیم‌ها در غلظت‌های مختلف اسید فولیک، نیتروژن و فسفر در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب پتروشیمی تبریز

علی علیشیری[1] ابراهیم فتایی[2]

(دریافت ۹۳/۱۰/۱۶ پذیرش ۹٤/۳/۱۰)

چکیده

عملکرد سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی فاضلاب، به وجود عوامل مختلف نظیر مواد مغذی و ویتامین‌ها بستگی دارد. در این پژوهش میزان تأثیر غلظت‌های مختلف اسید فولیک (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴ppm) به همراه مقادیر مختلف نیتروژن (۲۰، ۳۰ و ٤۰ppm) و فسفر (٤، ٦ و ۱۰ppm) بر تصفیه بیولوژیکی فاضلاب صنعتی پتروشیمی تبریز مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین شرایط بهینه رشد میکروارگانیسم‌ها از روش تاگوچی با آرایه ارتوگونال L9 استفاده شد. مقادیر کدورت، BOD_5، TSS و MLSS به‌عنوان پارامترهای اساسی تصفیه فاضلاب مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که فقط تأثیر فاکتور نیتروژن در حذف BOD_5 معنی‌دار بود که میزان تأثیر آن برابر ۷۳/٤ درصد به‌دست آمد. اسید فولیک با ٤۲/۷ درصد بیشترین تأثیر را در کاهش TSS نشان داد. فقط کاربرد اسید فولیک در افزایش MLSS با ۹۰/۱ درصد تأثیر، معنی‌دار به‌دست آمد. غلظت‌های ۰/۲ppm اسید فولیک، ۳۰ppm نیتروژن و ٤ppm فسفر در سه پارامتر مورد بررسی سبب ایجاد شرایط بهینه شدند. اثرات متقابل سطح اول اسید فولیک× سطح دوم فسفر بر کاهش کدورت، سطح دوم اسید فولیک× سطح دوم فسفر بر کاهش BOD_5، سطح دوم نیتروژن× سطح دوم فسفر بر کاهش TSS و سطح اول نیتروژن× سطح اول فسفر بر افزایش MLSS، دارای بیشترین تأثیر بودند. این نتایج نشان داد که افزودن اسید فولیک، نیتروژن و فسفر به فاضلاب پتروشیمی تبریز که فاقد این مواد است، علاوه بر بهبود رشد میکروارگانیسم‌ها، سبب بهبود پارامترهای پساب خروجی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسید فولیک، تصفیه بیولوژیکی، روش تاگوچی، فاضلاب صنعتی، مواد مغذی

Improving the Microorganism Function at Different Concentrations of Folic Acid, Nitrogen and Phosphor in Biological Wastewater Treatment of Tabriz Petrochemical

A. Alishiri [1] *E. Fataei [2]*

(Received Jan. 6, 2015 Accepted May, 31, 2015)

Abstract

Biological treatment of wastewater depends on different factors including the nutrient and vitamin contents. In this study, the effects of different concentrations of folic acid (0.1 ppm, 0.2 ppm, and 0.4 ppm) together with different amounts of nitrogen (20 ppm, 30 ppm, and 40 ppm) and phosphorus (4 ppm, 6 ppm, and 10 ppm) were studied on the biological treatment of the industrial effluent from Tabriz Petrochemical Plant. The Taguchi method with an L9 orthogonal array was used to determine the optimum conditions for the growth of microorganisms. Turbidity, BOD_5, TSS, and MLSS were measured as the main parameters of the treated effluent. The results showed that only N has a significant effect (78.4%) on BOD_5 removal. Folic acid had the

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی محیط زیست، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول) ۰۹۱٤۳٥٤۹٤۰۰ ebfataei@gmail.com

1. MSc Student, Dept. of Environmental Engineering, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran
2. Ass. Prof., Dept. of Environmental Engineering, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran (Corresponding Author) 09143549400 ebfataei@gmail.com

greatest effect (42.7%) on TSS reduction. This is while folic acid had a significant effect (90.1%) only on increasing MLSS. The optimum conditions for microorganism activity consisted of a folic acid concentration of 0.2 ppm, an N concentration of 30 ppm, and a P concentration of 4 ppm . Interactions between first level of folic acid×second level of P on turbidity reduction, second level of folic acid×second level of P on BOD_5 reduction, second level of N×second level of P on TSS reduction, and first level of N×first level of P on increasing MLSS were highly significant. These results show that adding folic acid, N, and P to the effluent from Tabriz Petrochemical Plant not only enhances the growth of microorganisms but also leads to the improvement of the treated effluent for discharge into the environment

Keywords: Folic Acid, Biological Treatment, Taguchi Method, Industrial Wastewater, Nutrients.

۱- مقدمه

با توسعه شهرها، افزایش جمعیت و گسترش صنایع روز به روز بر اهمیت کنترل آلودگی محیط زیست افزوده می‌شود. فاضلاب یکی از عوامل مهم آلودگی محیط زیست است که باید به طریق بهداشتی جمع‌آوری، تصفیه و مجدداً به چرخه آب در طبیعت برگردانده شود [۱]. پساب نفتی، یکی از مهم‌ترین پساب آلاینده محیط زیست است. برای تصفیه این گونه پساب‌ها، اغلب از سیستم‌های بیولوژیکی هوازی نظیر لجن فعال استفاده می‌شود. درصد حذف مواد آلاینده در این سیستم‌ها، بستگی به میزان فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود دارد. برخی از مواد مانند متانول، گلوکز و غیره باعث تسریع و بهبود این فعالیت می‌شوند و بعضی دیگر نظیر تولوئن، فورفورال و فنل، حالت بازدارنده دارند. فاضلاب پالایشگاه‌های نفت دارای مقادیر زیادی روغن و چربی به‌صورت ذرات معلق، هیدروکربن‌های سبک و سنگین، فنل و مواد آلی حل شده دیگر است که اگر بدون تصفیه به محیط تخلیه شوند، خطر آلودگی محیط زیست را در پی خواهند داشت [۲]. حذف ترکیبات خطرناک موجود در خروجی فاضلاب‌های صنایع گوناگون از نیازهای امروزی بشر است [۳]. این امر لزوم تحقیق در سیستم‌های تصفیه مؤثر و در عین حال ارزان قیمت را کاملاً روشن می‌سازد. صنایع مادر مانند صنایع پتروشیمی جزو صنایعی هستند که دارای فاضلاب‌هایی با انواع آلاینده‌ها می‌باشند [۴ و ۵].

در بین روش‌های تصفیه فاضلاب، سیستم‌های بیولوژیکی به‌علت مزایای خاصی که نسبت به سایر روش‌ها دارند، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مزایای عمده این روش‌ها سازگاری بیشتر با محیط زیست و بی‌خطر بودن آنها است [۶]. در فرایندهای تصفیه زیستی، از میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه مواد آلی محلول در فاضلاب، استفاده می‌شود. برای بهره‌وری مناسب تصفیه فاضلاب، استفاده از میکروارگانیسم‌های سازگار و استفاده از مواد مغذی و ویتامین‌ها مفید خواهد بود [۷]. میکروارگانیسم‌های دخیل در حذف آلاینده‌های کربن از فاضلاب برای ساخت پروتئین، اسید نوکلئیک و اجزای دیواره سلولی و در نهایت برای رشد و تولیدمثل نیازمند نیتروژن و فسفر می‌باشند [۸]. در فاضلاب‌های شهری، نیتروژن و فسفر به میزان کافی برای میکروارگانیسم‌ها موجود است ولی در برخی از پساب‌های صنعتی با ماده آلی زیاد، ممکن است نیتروژن و فسفر وجود نداشته باشد و باید به این فاضلاب‌ها افزوده شود تا فاضلاب قابل تصفیه شود [۹]. عماری با مطالعه نیاز غذایی میکروارگانیسم‌ها در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب صنعتی حاصل از تولید روغن زیتون در دو شرایط هوازی و بی‌هوازی، به این نتیجه رسید که نسبت‌های ۱۷۰:۵:۱/۵ و ۹۰۰:۵:۱/۷ از COD:N:P به‌ترتیب در شرایط بی‌هوازی و هوازی سبب کاهش ۸۰ و ۷۵ درصدی COD شدند [۱۰].

کارایی واحدهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب به‌دلایل مختلفی مانند کمبود ویتامین کاهش می‌یابد [۱۱]. اسید فولیک یا فولاسین یا اسید پتروئیل گلوتامیک یک ویتامین حلال در آب است و به نام‌های ویتامین Bc، B_9 و فاکتور ویلز نیز مشهور است [۱۲]. فرم فعال بیولوژیکی اسید فولیک اسید ۵، ۶، ۷ و ۸ تتراهیدروفولیک[1] و مشتقات آن است [۱۳]. اسید فولیک باعث تسریع سنتز اسیدهای آمینه (متیونین و گلیسین) و بیوسنتز پروتئین‌ها (پپتید و پورین) می‌شود و در تقسیم سلولی و سنتز D-آلانین در دیواره سلولی باکتری‌ها نقش دارند. همچنین به‌عنوان کوآنزیم به متابولیسم عمومی کمک می‌کند. اسید فولیک سبب تبدیل سموم به واحدهای کوچک‌تر (تجزیه به ملکول‌های کوچک‌تر) نیز می‌شود [۱۱ و ۱۴]. بنابراین وجود اسید فولیک برای کارکرد بهینه میکروارگانیسم‌ها در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب و سیستم‌های لجن فعال لازم و ضروری است [۱۵].

سنرور و بارلاس با کاربرد اسید فولیک در تصفیه فاضلاب خانگی در یک بازه زمانی سی روزه به این نتیجه رسیدند که میزان COD در خروجی فاضلاب به میزان حداکثر ۶۰ppm و به‌طور میانگین به۳۵ppm-۳۰ رسید. در حالی که مقدار COD در ورودی فاضلاب بین ppm ۱۴۰۰-۲۰۰ متغیر بود [۱۴]. نتایج تحقیقات لانزراس نشان داد که کاربرد اسید فولیک باعث افزایش ۳۰

[1] THF

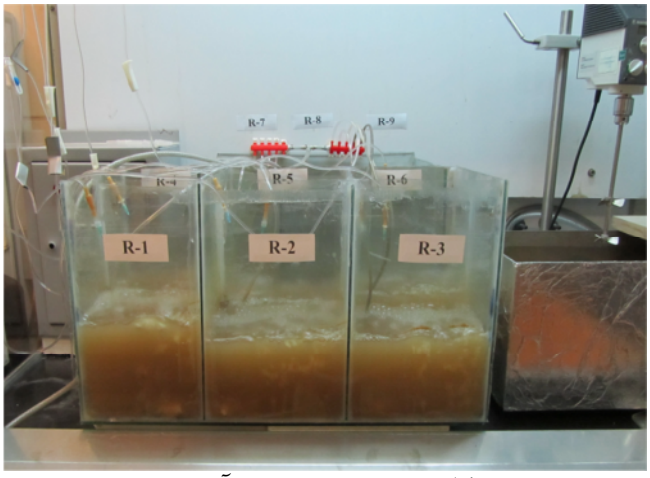
درصدی سن لجن نسبت به حالت عدم کاربرد اسید فولیک در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب شهری می‌شود [۱۶]. دوهم نیز نشان داد که کاربرد اسید فولیک سبب کاهش شاخص حجم لجن[1] می‌شود. همچنین این ماده مانع از حجیم شدن لجن[2] می‌شود [۱۷].
در بررسی‌های انجام شده، فقط تأثیر اسید فولیک در غلظت‌های مختلف روی عملکرد تصفیه بیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفته بود، لذا در این پژوهش تلاش شد تأثیر غلظت‌های مختلف نیتروژن و فسفر به‌عنوان مواد مغذی میکروارگانیسم‌ها به همراه غلظت‌های مختلف اسید فولیک، برای افزایش کارایی سیستم تصفیه بیولوژیکی فاضلاب پتروشیمی تبریز و بهبود پارامترهای خروجی پساب مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

برای تعیین شرایط بهینه رشد میکروارگانیسم‌ها در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب و بهبود پارامترهای خروجی پساب تصفیه بیولوژیکی، آزمایشی روی فاضلاب صنعتی پتروشیمی تبریز انجام شد.

با توجه به مزایای راکتورهای ناپیوسته متوالی[3] نظیر هزینه احداث پایین، بازده بالا، عدم نیاز به تانک ته‌نشینی، راهبری آسان و غیره امروزه استفاده از این نوع راکتورها برای تصفیه فاضلاب صنایع و اجتماعات کوچک رایج است. در این پژوهش از نه راکتور ناپیوسته متوالی با ابعاد ۵۰×۱۲×۱۲ سانتی‌متر از جنس شیشه در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد (شکل ۱). راکتورها در دمای معمولی اتاق (۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس) مورد بهره‌برداری قرار گرفتند. برای هوادهی از خط هوای موجود در سیستم آزمایشگاه که از سیلندرهای هوای فشرده تأمین می‌شود، استفاده شد. برای هوادهی بهتر از سنگ‌های هوادهی حلقوی در کف راکتورها استفاده شد.

گردش عملیاتی راکتورها به‌صورت ۲۴ ساعته به‌ترتیب شامل دو دقیقه برای پر کردن، ۲۲/۵ ساعت هوادهی (فاز واکنش)، یک ساعت ته‌نشینی، سه دقیقه برای تخلیه و حدود ۲۵ دقیقه به‌عنوان مرحله سکون تنظیم شد. راکتورها به‌مدت ۲۰ روز شامل ۵ روز برای سازگاری لجن و ۱۵ روز برای عملیات ثبت اطلاعات مورد بررسی قرار گرفت. برای راه‌اندازی راکتورها از دو لیتر لجن فعال و دو لیتر فاضلاب که به‌ترتیب از خط برگشتی فاضلاب و ورودی حوضچه Equal پتروشیمی تبریز تهیه شده بود، استفاده شد. مقادیر اولیه پارامترهای فاضلاب، بعد از تنظیم COD با افزودن



شکل ۱- نمایی از راکتورهای آزمایشی

استایرن روی ۶۰۰ppm، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول ۱). در روش هوازی برای تصفیه پساب نسبت C/N/P باید به‌صورت ۱۰۰/۵/۱ باشد [۸]. ولی چون افزایش اسید فولیک باعث افزایش رشد میکروارگانیسم‌ها می‌شود، در نتیجه میزان نیاز میکروارگانیسم‌ها به نیتروژن و فسفر نیز متغیر خواهد بود. بنابراین در این آزمایش با ثابت نگه داشتن مقدار COD برابر ۶۰۰ppm، سه غلظت مختلف اسید فولیک (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴ppm)، نیتروژن (۲۰، ۳۰ و ۴۰ppm) و فسفر (۴، ۶ و ۱۰ppm) به‌عنوان متغیرهای آزمون انتخاب شدند (سه فاکتور در سه سطح). برای تعیین شرایط بهینه رشد میکروارگانیسم‌ها در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب از روش تاگوچی با آرایه ارتوگونال L_9 استفاده شد (جدول ۲).

برای اعمال غلظت‌های مختلف فسفر از دی پتاسیم هیدروژن فسفات (K_2HPO_4) ساخت شرکت مرک با Order No: 105109 و برای اعمال غلظت‌های مختلف نیتروژن از محلول کلرید آمونیوم (NH_4Cl) ساخت شرکت مرک با Order No: A0162745 استفاده شد. برای تهیه محلول اسید فولیک نیز از شکل دارویی اسید فولیک (پودر زرد رنگ DSM سوئیس) استفاده شد. به این صورت

جدول ۱- مقادیر اولیه پارامترهای فاضلاب

پارامتر اندازه‌گیری شده	مقادیر
BOD	۲۷۱ppm
COD	۶۰۰ppm
pH	۸/۴
MLSS	۱۱۰۰ppm
نیتروژن	Trace
فسفر	Trace
TSS	۲۰ppm
رنگ	۶۹Pt/Co
کدورت	۱۲NTU

[1] Sludge Volume Index (SVI)
[2] Bulking
[3] Sequencing Batch Reactor (SBR)

جدول ۲- طراحی آزمایش به‌روش تاگوچی با آرایه ارتوگونال L9

شماره آزمایش (راکتور)	فاکتور		
	اسید فولیک	نیتروژن	فسفر
۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲
۳	۱	۳	۳
۴	۲	۱	۲
۵	۲	۲	۳
۶	۲	۳	۱
۷	۳	۱	۳
۸	۳	۲	۱
۹	۳	۳	۲

که ابتدا محلول اصلی با غلظت C ساخته شد و سپس با استفاده از رابطه زیر مقدار حجم تزریق محاسبه شد:

$$IV\ (lit/hour)=(QV\times D)/C \qquad (۱)$$

که در این رابطه

QV دبی حجمی 2Lit/24h ، D دز اعمال شده به راکتورها بر حسب میلی‌گرم در لیتر و C غلظت ماده ساخته شده برای تزریق بر حسب میلی‌گرم در لیتر است.

برای اسید فولیک محلول ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C معادل ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه شد و سپس برای هر یک از غلظت‌ها مقدار تزریق در هر دقیقه محاسبه شده و با آب DM [1] رقیق شد. هر یک از این محلول‌ها توسط دوزینگ پمپ [2] به‌صورت پیوسته به راکتورها تزریق شد. مقدار رقت برای هر یک از غلظت‌های اعمالی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- میزان رقت برای هر یک از غلظت‌های اعمالی اسید فولیک با آب DM

غلظت محلول (ppm)	۰/۵*	۰/۴	۰/۲	۰/۱
میزان رقت	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۸۵۰

*شوک دز

[1] De-Mineralization
[2] Dosing Pump

برای نیتروژن نیز محلول ۸۰۰ppm (C معادل ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر) از کلرید آمونیوم و برای فسفر محلول ۲۰۰ppm از دی‌پتاسیم هیدروژن فسفات (C معادل ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) تهیه شده و توسط رابطه ۱ حجم تزریق برای ۲۴ ساعت برای غلظت‌های مختلف اعمالی محاسبه و در ابتدای هر سیکل به داخل راکتورها افزوده شد.

برای سازگاری و رشد میکروارگانیسم‌ها به‌مدت پنج روز غلظت‌های ۶ppm فسفر، ۳۰ppm نیتروژن و ۰/۵ppm اسید فولیک به‌عنوان شوک دز به راکتورها اعمال شد. از روز ششم به بعد دو لیتر فاضلاب جدید به راکتورها اضافه شد و سیکل عملیاتی راکتورها شروع شد. نمونه‌برداری از فاضلاب هر ۴۸ ساعت یکبار صورت گرفت و میزان تغییرات BOD، کدورت، TSS و MLSS بر اساس آزمایش روش‌های ارائه شده در جدول ۴ اندازه‌گیری شد.

در این آزمایش برای تجزیه آماری داده‌ها و پیدا کردن شرایط بهینه از روش تاگوچی استفاده شد. برای پیدا کردن اهمیت نسبی پارامترها روی هر کدام از خروجی‌ها از روش آماری تجزیه واریانس آنوا [3] استفاده شد. مقادیر توزیع نسبی F و درصد توزیع به‌ترتیب از روابط ۲ و ۳ به‌دست آمد

$$F_i = MS_i/MS_e \qquad (۲)$$

$$p(\%) = \frac{SS_i - DF_i(MS_e)}{S_T} \qquad (۳)$$

که در آن

SS_i مجموع مربعات [4] هر پارامتر، MS_i میانگین مجموع مربعات برای هر پارامتر، DF_i درجات آزادی [5] فاکتورها و S_T مجموع مربعات کل است.

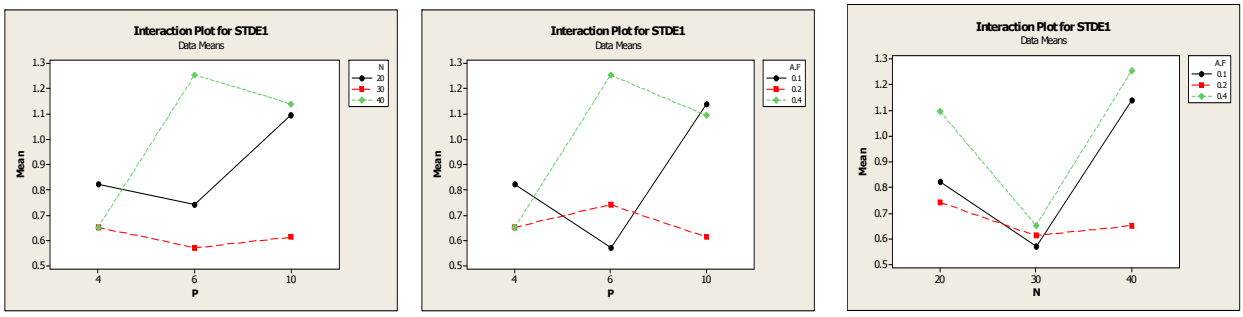
برای محاسبه اثرات اصلی فاکتورها از رابطه ۴ استفاده شد

$$X_{Li}=(\sum Y_i)/N \qquad (۴)$$

[3] ANOVA
[4] Sum of Square
[5] Degree of Freedom

جدول ۴- شماره آزمایش روش‌ها و تجهیزات استفاده شده برای انجام آزمایش

نام آزمایش	شماره آزمایش روش‌ها	تجهیزات
BOD	روش استاندارد 5210_{ABC}BOD	یخچال BOD
کدورت	ASTM.D.1889	کدورت سنج
TSS	روش استاندارد 2540_D	آون، کوره، ترازو
MLSS	روش استاندارد 2540B	آون، کوره، ترازو



(ج) (ب) (الف)

شکل ۲- اثرات متقابل فاکتورهای اسید فولیک×نیتروژن (الف)، اسید فولیک×فسفر (ب) و نیتروژن×فسفر (ج) بر پارامتر کدورت

یعنی اثر اصلی فاکتور X در سطح L برابر است با مجموع پاسخ‌ها در آن سطح، تقسیم بر تعداد پاسخ‌ها. برای هر یک از فاکتورها، پاسخ در آن سطح به‌دست آمد و از اختلاف (L_2-L_1) با در نظر گرفتن قدر مطلق اعداد، فاکتوری که بیشترین سهم را دارا بود، مشخص شد. اگر عدد حاصل از تفاضل، صفر می‌شد، به این معنی بود که آن فاکتور هیچ سهمی در طراحی آزمایش نداشت.

سطح بهینه فاکتورها بر اساس نوع پاسخ مشخص شد. اگر پاسخ از نوع بیشتر بود، در آن صورت جوابی که بیشترین عدد را داشت، به‌عنوان پاسخ بهینه در نظر گرفته می‌شد و اگر پاسخ از نوع کمتر بود در آن صورت جوابی که کمترین عدد را دارا بود، به‌عنوان جواب بهینه معرفی می‌شد.

میزان شدت اثرات متقابل فاکتورها به اندازه زاویه بین دو خط بستگی دارد که با شاخص دقت (SI[1]) اندازه‌گیری می‌شود. اگر زاویه بین دو خط ۹۰ باشد، شاخص SI برابر ۱۰۰ درصد می‌شود و اگر زاویه بین دو خط صفر باشد، این شاخص برابر صفر درصد است. در نتیجه هرچه SI بزرگ‌تر باشد، اهمیت اثر متقابل دو فاکتور بیشتر می‌شود. با استفاده از این شاخص می‌توان ترتیب اهمیت اثر متقابل را پیش‌بینی کرد. برای تعیین شاخص دقت بین دو فاکتور A و B از رابطه زیر استفاده شد

$$SI = \frac{(LA2B1) - (A1B1) - (A2B2 - A1B2)}{2Cons\ tan\ t} \qquad (۵)$$

که در این رابطه Constant اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار محاسبه شده است [۱۸].

برای رسم نمودارهای اثرات متقابل از نرم‌افزار مینی تب۱۶ [2] استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- کدورت

تأثیر هیچ‌کدام از فاکتورهای مورد بررسی بر کاهش کدورت فاضلاب معنی‌دار نبود. در عین حال تاثیر نیتروژن (۴۳/۶ درصد) بر کاهش کدورت بیشتر از دو فاکتور دیگر بود (جدول ۵). در این آزمایش چون فقط بعد از عمل ته‌نشینی از فاضلاب راکتورهای آزمایشی نمونه‌برداری شد، بنابراین معنی‌دار نبودن نتایج آزمایش منطقی به نظر می‌رسد. در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب معمولاً بعد از تصفیه بیولوژیکی و قبل از تصفیه پیشرفته یک فرایند زلال‌سازی روی پساب خروجی صورت می‌گیرد که به مقدار قابل توجهی از میزان کدورت می‌کاهد. طبق جدول ۶ بهترین شرایط برای کاهش کدورت در غلظت‌های ۰/۲ppm اسید فولیک، ۳۰ppm نیتروژن و ۴ppm فسفر به‌دست آمد.

بر اساس SI بیشترین شدت اثرات متقابل مربوط به فاکتور اسید فولیک×فسفر (۲۴/۹ درصد) بود که اثر متقابل سطوح اول اسید فولیک و دوم فسفر بیشترین تاثیر را در کاهش کدورت فاضلاب نشان داد (شکل ۲ و جدول ۷).

گزارشات سرور حاکی از آن است که کاربرد غلظت‌های مختلف اسید فولیک روی فاضلاب صنایع فلزی، لبنیات، کاغذ و خانگی سبب کاهش میزان کدورت در تمام موارد می‌شود [۷].

۳-۲- BOD

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به BOD_5 نشان داد که از بین فاکتورهای مورد بررسی، فقط تأثیر فاکتور نیتروژن در حذف BOD_5 در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. نیتروژن در حذف BOD_5 با ۷۳/۴ درصد دارای بیشترین سهم بود. اسید فولیک با ۱۴/۹ درصد و فسفر با ۱/۱ درصد بعد از نیتروژن قرار گرفتند (جدول ۵).

[1] Severity Index
[2] Minitab 16

در این آزمایش کمتر بودن میزان BOD_5 پساب خروجی مطلوب بود، بنابراین سطح دوم اسید فولیک (۰/۲ppm)، سطح اول نیتروژن (۲۰ ppm) و سطح دوم فسفر (۶ ppm) بیشترین تأثیر را در حذف BOD_5 داشت که این غلظت‌ها بیانگر شرایط بهینه بود (جدول ۶).

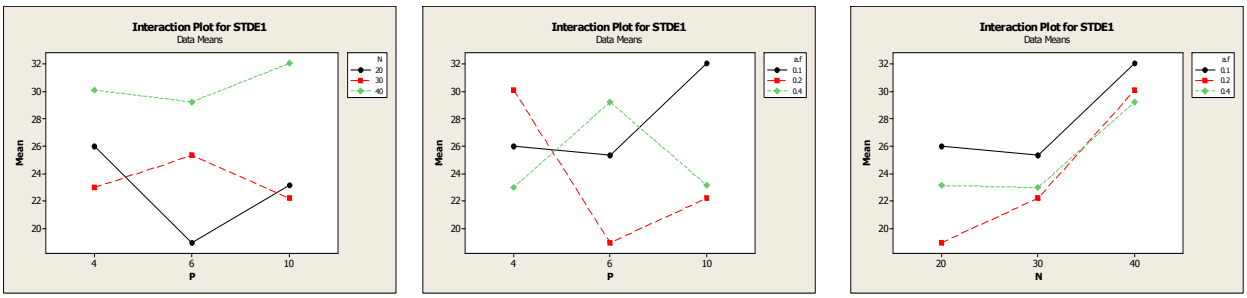
بیشترین میزان SI در اثر متقابل اسید فولیک×فسفر (۴۰ درصد) به‌دست آمد (جدول ۷). که اثر متقابل بین غلظت‌های ۰/۲ppm اسید فولیک و ۶ppm فسفر حداکثر تأثیر را برای کاهش BOD_5 نشان داد (شکل ۳).

در گزارش آکربوم و همکاران نیز با کاربرد اسید فولیک در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب میزان BOD_5 به‌طور متوسط ۷۷ درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد اسید فولیک کاهش یافت [۱۹]. سنرور نیز گزارش نمود که به‌کارگیری غلظت ۰/۲ppm اسید فولیک روی فاضلاب صنایع فلزی، میزان BOD_5 خروجی را به ۹۰-۱۱۲ppm کاهش داد [۷]. در آزمایش مذکور میزان BOD_5 پساب خروجی با کاربرد غلظت‌های ۰/۴ppm و ۱ppm تقریباً مشابه بوده و به ۳۰-۵۰ ppm رسید. در پژوهش لانزراس عنوان شد که به‌کارگیری اسید فولیک در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب شهری سبب کاهش COD در پساب خروجی به‌میزان ۱۵درصد در مقایسه با حوضچه بیولوژیکی شاهد شد [۱۶].

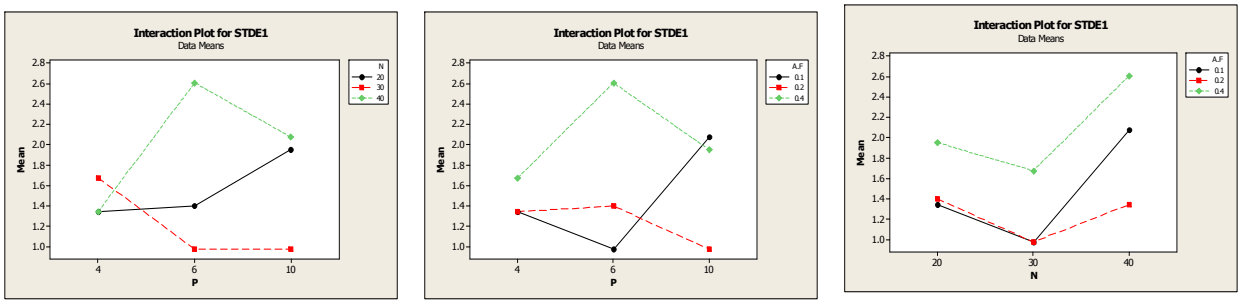
TSS -۳-۳

تأثیر هیچ یک از فاکتورهای آزمایشی روی کاهش TSS معنی‌دار نبود. با این حال اسید فولیک با ۴۲/۷ درصد بیشترین تأثیر را در کاهش TSS داشت و نیتروژن با ۳۵/۵ درصد بعد از اسید فولیک قرار گرفت. فسفر در کاهش این پارامتر هیچ تأثیری نداشت (جدول ۵). شرایط بهینه برای کاهش TSS در سطوح دوم اسید فولیک و نیتروژن و سطح اول فسفر یعنی غلظت‌های ۰/۲ppm اسید فولیک، ۳۰ppm نیتروژن و ۴ppm فسفر فراهم شد (جدول ۶).

اثر متقابل نیتروژن×فسفر دارای بیشترین SI (۲۳ درصد) بر کاهش TSS فاضلاب بود و سطوح دوم این فاکتورها بیشترین نقش را در کاهش TSS نشان دادند (شکل ۴ و جدول ۶).



شکل ۳- اثرات متقابل فاکتورهای اسید فولیک×نیتروژن (الف)، اسید فولیک×فسفر (ب) و نیتروژن×فسفر (ج) بر پارامتر BOD



شکل ۴- اثرات متقابل فاکتورهای اسید فولیک×نیتروژن (الف)، اسید فولیک×فسفر (ب) و نیتروژن×فسفر (ج) بر پارامتر TSS

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به کدورت، BOD، TSS و MLSS

فاکتور	درجه آزادی	کدورت		BOD		TSS		MLSS	
		MS	درصد	MS	درصد	MS	درصد	MS	درصد
اسید فولیک	۲	۰/۰۸۲	۲۶/۷۲۷	۱۲/۶۱۲	۱۴/۹۳۹	۰/۵۶۵	۴۲/۷۱۰	۱۵۸۱/۴۹*	۹۰/۱۳
نیتروژن	۲	۰/۱۲۷	۴۳/۶۱۵	۵۴/۶۹۳*	۷۳/۴۸۷	۰/۴۸۲	۳۵/۵۱۲	۴/۷۵	۰
فسفر	۲	۰/۰۴۴	۱۲/۲۳۹	۲/۶۹۳	۱/۱۳۹	۰/۰۴۴	۰	۲۹/۵۴	۰
خطا	۲	۰/۰۱۱	۱۷/۴۱۹	۱/۸۷۴	۱۰/۴۳۵	۰/۱۶۹	۲۱/۷۷۸	۶۵/۸۶	۹/۸۷

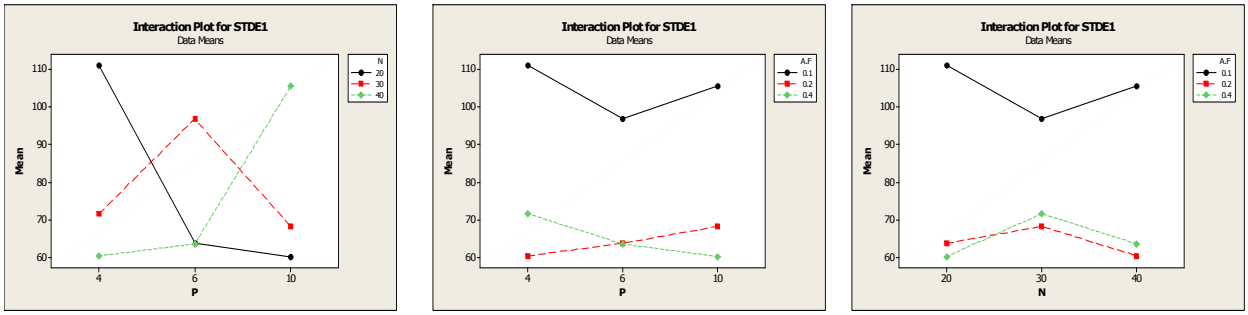
*: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۶- شرایط بهینه برای کاهش کدورت، BOD، TSS، MLSS

	کدورت		BOD		TSS		MLSS	
فاکتور	غلظت	سطح	غلظت	سطح	غلظت	سطح	غلظت	سطح
اسید فولیک	۰/۲	۲	۰/۲	۲	۰/۲	۲	۰/۱	۱
نیتروژن	۳۰	۲	۲۰	۱	۳۰	۲	۳۰	۲
فسفر	۴	۱	۶	۲	۴	۱	۴	۱

جدول ۷- شاخص درصد SI و سطوح بهینه فاکتورها

اثرات متقابل فاکتورها	کدورت	BOD	TSS	MLSS
اسید فولیک×فسفر	۲۴/۹	۴۰/۰۱	۲۳/۰۶	۷۱/۳۹
نیتروژن×فسفر	۸/۹۲	۳۵/۷۶	۱۲/۹۱	۱۸/۳۳
اسید فولیک×نیتروژن	۰/۱۳	۱۴/۸۹	۱/۶۷	۱۷/۲



شکل ۵- اثرات متقابل فاکتورهای اسید فولیک×نیتروژن (الف)، اسید فولیک×فسفر (ب) و نیتروژن×فسفر (ج) بر پارامتر MLSS

در پژوهش آکربوم نیز مشخص شد که فرایند تصفیه بیولوژیکی با کاربرد اسید فولیک به‌صورت پایدار درآمد و مقدار TSS در پساب خروجی تصفیه بیولوژیکی فاضلاب به میزان ۵۴ درصد کاهش نشان داد [۱۹]. استرانخید نیز با افزودن اسید فولیک با غلظت ۰/۱ppm در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب نشان داد که میزان TS[1] در پساب خروجی به میزان ۵۰ تا ۶۰ درصد کاهش یافت [۱۷]. در تحقیقات ولتر نیز میزان TS پساب خروجی به مقدار ۳۲ درصد با افزودن اسید فولیک کاهش نشان داد [۲۰].

۳-۴- MLSS

میزان MLSS نشان‌دهنده مقدار بیومس است و افزایش این پارامتر، گویای افزایش حجم میکروارگانیسم‌ها است. میزان MLSS در حوضچه بیولوژیکی تصفیه‌خانه پتروشیمی تبریز در زمان برداشت لجن برای پر کردن راکتورهای آزمایشی، برابر ۱۱۰۰ppm و کمتر از میزان استاندارد بود. در راکتورها نیز بعد از گذشت ۵ روز (شوک دز و زمان سازگاری میکروارگانیسم‌ها) این مقدار افزایش چشمگیری نیافت، بنابراین در این آزمایش افزایش میزان MLSS تا حد استاندارد مورد نظر بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به MLSS در جدول ۵ حاکی از آن است که فقط تأثیر کاربرد اسید فولیک در سطح احتمال ۵ درصد روی این پارامتر معنی‌دار بود، به‌طوری که اسید فولیک به میزان ۹۰/۱ درصد روی MLSS تأثیر گذاشت. فاکتورهای نیتروژن و فسفر هیچ تأثیری روی این پارامتر نداشتند. بهترین شرایط برای MLSS در غلظت ۰/۱ ppm اسید فولیک، ۳۰ ppm نیتروژن و ۴ppm فسفر مشاهده شد (جدول ۶).

طبق جدول ۶ اثر متقابل نیتروژن× فسفر با ۷۱/۳۹ درصد دارای بیشترین شاخص دقت بود که سطوح اول هر دو فاکتور بیشترین تأثیر را در افزایش MLSS دارا بودند (شکل ۵).

آکربوم و همکاران نیز طی آزمایش‌های خود نشان دادند که با شروع به‌کارگیری اسید فولیک در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب، کارایی سیستم در کلاریفایر ثانویه در دومین روز کاربرد، بهبود پیدا کرد و یک هفته بعد تعداد باکتری‌های مژه‌دار (روتیفر) که در لجن معمولی در هر اسلاید ۱ تا ۵ بود با کاربرد اسید فولیک به ۳۰ عدد در هر اسلاید رسید و در یک مورد نیز تعداد این باکتری برابر ۵۴ عدد بود [۱۹].

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با افزودن اسید فولیک و تنظیم مقدار نیتروژن و فسفر، بین تکثیر و مرگ و میر میکروارگانیسم‌ها تعادل ایجاد شد و این امر سبب شد که میکروارگانیسم‌ها در فاز رشد ثابت قرار بگیرند. در نتیجه تصفیه بیولوژیکی فاضلاب نیز دارای ثبات و بهره‌وری مطلوب‌تری شد.

غلظت‌های ۰/۲ppm اسید فولیک، ۳۰ppm نیتروژن و ۴ppm فسفر در کاهش کدورت و TSS، غلظت‌های ۰/۲ppm اسید فولیک، ۲۰ppm نیتروژن و ۶ppm فسفر در کاهش BOD_5 و غلظت‌های ۰/۱ppm اسید فولیک، ۳۰ppm نیتروژن و ۴ppm فسفر در افزایش MLSS منجر به ایجاد شرایط بهینه شدند. افزودن نیتروژن به سیستم تصفیه بیولوژیکی بیشترین تأثیر را در کاهش کدورت و BOD_5 گذاشت. به‌کارگیری اسید فولیک باعث افزایش MLSS شده و با ۹۰/۱ درصد تاثیر، بیشترین نقش را در افزایش این پارامتر دارا بود. همچنین وجود اسید فولیک در سیستم تصفیه بیولوژیکی با ۴۲/۷ درصد تأثیر، بیشترین سهم را در کاهش TSS در خروجی فاضلاب داشت. وجود فسفر روی MLSS و TSS نقشی نداشته و در مورد کدورت و BOD_5 نیز کمترین تأثیر را در بین فاکتورهای آزمایشی نشان داد.

اثرات متقابل سطح اول اسید فولیک× سطح دوم فسفر بر کاهش کدورت، سطح دوم اسید فولیک× سطح دوم فسفر بر کاهش BOD_5، سطح دوم نیتروژن× سطح دوم فسفر بر کاهش TSS و سطح اول نیتروژن× سطح اول فسفر بر افزایش MLSS، دارای بیشترین تاثیر بودند.

[1] Total Solid

از آنجایی که عوامل بازدارنده رشد میکروارگانیسم‌ها در فاضلاب‌های صنعتی متنوع می‌باشد، لذا انجام تحقیقات مشابه روی این فاضلاب‌ها می‌تواند نتایج متفاوتی را داشته باشد. افزودن ویتامین‌های دیگر همراه با مواد مغذی در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب‌های صنعتی توصیه می‌شود. در فاضلاب‌های شهری به‌علت وجود مقادیر زیاد مواد مغذی نظیر نیتروژن و فسفر، برای بهبود تصفیه بیولوژیکی، بهتر است اعمال اسید فولیک و یا سایر ویتامین‌ها بعد از تنظیم نسبت مقادیر نیتروژن و فسفر صورت گیرد.

۵- مراجع

1. Shariatpanahi, M. (2003). *Principles of environmental health*, Tehran University Press, Tehran. (In Persian).
2. Nahid, P., and Kazemi, A. (2004). "Bioactivity improvement in activated sludge treatment of petroleum refinery wastewater." *J. of Water and Wastewater*, 15-2 (50), 23-28. (In Persian).
3. Mittal, A., Kurup, K. L., and Gupta, V. K. (2005). "Use of waste materials--bottom ash de-oiled Soya, as potential adsorbents for the removal of Amaranth from aqueous solution." *J. of Hazard Mater*., 117(2-3), 171-178.
4. Berent, J. (2001). "Current management of ethylene glycol poisoning." *J. of Drugs*, 61(7), 979-988.
5. Grzes Kowiak, A. Z., Grzes Kowiak, T., Zembrzuska, J., and Lukaszewski, Z. (2006). "Comparison of biodegradation of poly (ethylene glycol) s and poly (propylene glycol) s." *Chemosphere*, 64, 803-809.
6. Golbang, N., Shahiam, M. N., and Emtiazi, G. (2004). "Effect of phenol concentration on growth, respiration and biofilm formation of phenol-degrading bacteria in Isfahan steal plant wastewater." *J. of Water and Wastewater*, 15-4 (52), 31-38. (In Persian).
7. Senorer, E. (2001). "Determination of effect of folic acid on biological treatment efficiency." MSc Thesis, Istanbul University, Institute of Science and Technology, Istanbul, Turkey.
8. Maier, R. M. (1999). "Biochemical cycling." Chapter 14. In: Maier, R. M., Pepper, I. L., and Gerba, C. P. (Eds)., *Environ. Microbiol*., Academic Press, Canada.
9. Hantanirina, J. M. O. (2010). "Improving BOD removal at SNJ wastewater treatment plant by biological treatment." MSc Thesis of Environmental Engineering/Water Science and Technology, Faculty of Science and Technology, University of Stavanger, Norway.
10. Ammary, B. Y. (2004). "Nutrients requirements in biological industrial wastewater treatment." *Afr. J. of Biotechnol*., 3(4), 236-238.
11. Strunkheide, J. (2004). "Stabilized folic acid vitamin for the reduction of excess sludge in sewage treatment plants." <http://www.dosfolat.de/literatare/wwt-papers.html>. (May 2014).
12. Hassing, L., Wahlin, A., Winblad, B., and Backman, L. (1999). "Further Evidence on effects of vitamin B12 and folate levels on episodic memory functioning: a population- based study of healthy very old adults." *Soc. Biol. Psychol*., 45, 1472-1483.
13. Bassler, K. H., Golly, I., Loew, D., and Pietrzik, K. (1997). *Vitamin encyclopedia for doctors, pharamacists and nutritionists*, 2nd Ed., Fischer verlag, Stuttgart. (In Germany).
14. Senorer, E., and Barlas, H. (2004). "Effects of folic acid on the efficiency of biological wastewater treatment." *Feresen. Environ. Bull*., 13(10), 1036-1039.
15. Rapold, H., and Bacher, A. (1974). "Bacterial degradation of folic acid." *J. Gen. Microbiol*., 89, 283-290.
16. Lanzrath, M. (2007). "Use of the adjuvant dosfolat (folic acid) in sewage treatment plants to improve performance and reduce cost using the example of the treatment plant Bonn-Duisdorf." Thesis for Earning a Diploma Engineer, University of Applied Sciences, Cologne, Germany. (In Germany)
17. Dohme, M. (1988). "The effect of folic acid on the metabolism rate of activated sludge plants as shown by the example of the Uelzen and Suderburg sewage treatment works." Diploma Thesis, Fachhochschule Suderburg, Germany.
18. Roy, R. K. (2010). *A primer on the taguchi method*, 2nd Ed., Society of Manufacturing Engineers, USA.
19. Akerboom, R. K., Lutz, P., and Berger, H. F. (1994). "Folic acid reduces the use of secondary treatment additives in treating wastewater from paper recycling." *International Environmental Conference and Exhibit*, TAPPI Proceedings, Oregon, Portland.
20. Wolter, C. (2006). "Biological Sludge reduction and improved performace optimizing operating costs through the use of DOSFLAT ®XS." <<http.//www. Deflate.de/reports/folien-DWA-Tagung-2006. PDF.>> (In Germany)