

## کاربرد روش شناسی سطح پاسخ برای مقایسه کارایی سیستم های نيزار مصنوعی و هوادهی گسترده در حذف مواد آلی از فاضلاب شهری

رضا شکوهی<sup>۱</sup>، عبدالله درگاهی<sup>۲\*</sup>، امیر کرمی<sup>۲</sup>، میترا محمدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

<sup>۲</sup> مرکز پژوهش دانشجویان، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

<sup>۳</sup> گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

\* نویسنده مسئول: عبدالله درگاهی، مرکز پژوهش دانشجویان، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان،

ایران. ایمیل: a.dargahi29@yahoo.com

DOI: 10.21859/psj-15031

### چکیده

مقدمه: مواد آلی یکی از مهم ترین خصوصیات کیفی خروجی از تصفیه خانه است. هدف این مطالعه مقایسه کارایی سیستم های نيزار مصنوعی و لجن فعال از نوع هوادهی گسترده در حذف مواد آلی از فاضلاب شهری بر اساس روش سطح پاسخ بود.

روش کار: در این مطالعه تجربی در مجموع ۱۰۰ نمونه به صورت مرکب برداشت گردید. پارامترهای BOD، COD و کل جامدات معلق با توجه به نوع سیستم تصفیه و زمان راهبری سنجش شد. کلیه مراحل نمونه برداری، انتقال نمونه، ذخیره سازی و اندازه گیری مطابق روش های استاندارد آب و فاضلاب انجام شد. طراحی آزمایش ها، تعیین مدل و معادله حذف مواد آلی و نیز تعیین نقطه بهینه سیستم با استفاده از روش سطح پاسخ انجام شد.

یافته ها: بیشترین میزان حذف BOD، COD و TSS در نيزار مصنوعی به ترتیب ۹۵/۶۷٪، ۹۳/۴٪ و ۸۷/۴۱٪ و در هوادهی گسترده به ترتیب ۹۷٪، ۶۵/۱٪ و ۸۰/۲٪ در فصل تابستان به دست آمد. کارایی سیستم هوادهی گسترده در حذف تمامی پارامترها در تمام فصول مورد بررسی بیشتر از سیستم نيزار مصنوعی بود. ضریب همبستگی ۰/۸۹ - ۰/۸ تأیید کننده تأثیر زمان راهبری بر کارایی سیستم های تصفیه بود. مقادیر صحت و دقت در نيزار مصنوعی، ۱۷/۶۵ - ۱۲/۶۴ و در هوادهی گسترده، ۱۹/۳۷ - ۱۶/۰۱ حاصل شد. مدل حاکم بر نيزار مصنوعی و هوادهی گسترده از نوع خطی بود.

نتیجه گیری: کارایی سیستم هوادهی گسترده در صورت راهبری مطلوب بیشتر از نيزار مصنوعی است. روش طراحی سطح پاسخ به خوبی از عهده تفسیر کارایی نيزار مصنوعی و هوادهی گسترده در حذف مواد آلی فاضلاب شهری برمی آید.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۶

### واژگان کلیدی:

نيزار مصنوعی

هوادهی گسترده

فاضلاب شهری

مواد آلی

روش سطح پاسخ

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه

علوم پزشکی همدان محفوظ است.

### مقدمه

فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی و صنعت است [۳]. تأسیس تصفیه خانه های تصفیه فاضلاب به تنهایی نگرانی های زیست محیطی را برطرف نمی کند بلکه برای رسیدن به استانداردهای مطلوب زیست محیطی باید عملکرد این تصفیه خانه ها مدام تحت بررسی و ارزیابی قرار گیرند [۴]. از جمله پارامترهای که برای ارزیابی عملکرد تصفیه خانه های فاضلاب باید مورد توجه قرار گیرد میزان اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی، میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و کل جامدات معلق است [۵]. به طور کلی دستگاه های تصفیه فاضلاب شامل دستگاه های تصفیه مکانیکی و طبیعی است که می توان از آن ها برای تصفیه انواع فاضلاب ها استفاده نمود. آنچه در این زمینه حائز اهمیت است انتخاب فناوری مناسب با توجه به مشخصات فاضلاب، وضعیت آب و هوایی، وضعیت اقتصادی منطقه و منابع مالی موجود، بزرگی و کوچکی پروژه، استانداردهای زیست محیطی، وضعیت منابع انسانی متخصص، وضعیت توپوگرافی منطقه، قابلیت های اجرایی، نحوه بهره برداری و نگهداری، نوع منابع پذیرنده پساب تصفیه شده، سطح

پساب های تولید شده در بخش های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی به عنوان یکی از مخاطرات مهم بهداشتی و زیست محیطی در جوامع مختلف تلقی می شدند. اما امروزه، افزایش روزافزون جمعیت و نیاز غذایی بشر و فشار بیش از حد به منابع آب شیرین و پاک سبب شده تا به پساب ها به عنوان یکی از منابع آب نامتعارف و جدید نگریسته شده و تلاش ها برای بازیافت و استفاده مجدد از آن ها در مصارف مختلف رو به افزایش باشد. این امر در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند کشور ایران که با تغییرات اقلیمی و کمبود بارش مواجه هستند ضروری تر به نظر می رسد [۱]. فاضلاب ها به عنوان یکی از مهم ترین عوامل آلوده کننده زیست محیطی شناخته شده و چنانچه پساب خروجی حاوی برگ خریدهای آلاینده ای باشد که غلظت آن ها بیشتر از استاندارد دفع باشد، آثار سوء ناشی از آن به صورت تهدید در سلامت محیط زیست پذیرنده ظاهر می شود [۲]. مهم ترین اهداف از احداث سامانه های تصفیه ی فاضلاب شامل حفظ بهداشت همگان، حفاظت محیط زیست و جلوگیری از آلودگی منابع آب و استفاده مجدد از

و ۷۱/۷۷ درصد بوده است. همچنین بهترین راندمان و پایین‌ترین غلظت خروجی در فصل گرم و پایین‌ترین راندمان و بالاترین غلظت خروجی در فصل سرد به دست آمد [۱۳]. روش سطح - پاسخ (RSM) روشی کارا برای آنالیز و مدل‌سازی اثر متغیرهای مختلف بر روی پاسخ و نیز بهینه‌سازی فرایند است که به‌طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۴]. در روش سطح - پاسخ، پاسخ‌ها به‌سادگی توسط مدل‌های مختلف مطابق با عوامل انتخابی ارتباط داده می‌شوند [۱۵]. در کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط برخلاف کشورهای صنعتی مشکلات زیادی در مورد تأمین آب و مدیریت فاضلاب تولیدی وجود دارد. جمع‌آوری، تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب باعث حفاظت از محیط‌زیست، بهداشت عمومی و ایجاد رفاه در جامعه می‌شود. با توجه به اهمیت دفع بهداشتی فاضلاب و استفاده سالم و مطمئن از پساب تصفیه‌شده برای مصارف مختلف به‌ویژه آبیاری، تعیین و ارزیابی راندمان تصفیه‌خانه‌ها، این تحقیق باهدف بررسی کارایی سیستم‌های مختلف نیزار مصنوعی و هوادهی گسترده در حذف مواد آلی با تکیه بر روش طراحی سطح پاسخ انجام گردید.

### روش کار

این مطالعه از نوع تجربی بود که از تابستان تا زمستان ۱۳۹۴ به‌منظور مقایسه کارایی سیستم‌های نیزار مصنوعی و هوادهی گسترده موجود در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب استان کرمانشاه انجام شد. جامعه موردبررسی فاضلاب ورودی و خروجی از سیستم‌های تصفیه نیزار مصنوعی و هوادهی گسترده موجود در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب استان کرمانشاه است. نمونه‌برداری به‌صورت مرکب با دوره هفتگی از ورودی و خروجی تصفیه‌خانه‌ها انجام گرفت. طراحی آماری آزمایش‌ها و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار طراحی آزمایش‌ها و روش سطح - پاسخ استاندارد تحت عنوان طراحی ترکیب مرکزی (CCD) برای مطالعه، از دو فاکتور مختلف: فصل راهبری (A) و ماه راهبری (B) استفاده شد. متوسط دمای حاکم بر تصفیه‌خانه‌ها بین ۲۴ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد بر روی سه پاسخ فرایند راندمان حذف (COD: Chemocal Demand) و (TSS: Total Suspended Solid) مطالعه شد. مقادیر فاکتورها در سه سطح حداقل (۱-)، متوسط (۰) و حداکثر (۱+) موردبررسی قرار گرفت (جدول ۱). بر اساس نرم‌افزار، ۱۳ آزمایش (شامل ۴ نقطه متغیر، ۴ نقطه محوری، ۱ نقطه مرکزی و ۴ نقطه تکراری در مرکز) طراحی شد [۱۵]. داده‌های آزمایشگاهی به‌دست‌آمده با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه، مقادیر بهینه حذف، معادلات رگرسیون چندجمله‌ای، اعتبارسنجی آزمایش‌ها و رسم نمودارهای سه‌بعدی تجزیه تحلیل شد. در این مطالعه نمونه‌برداری ترکیبی به‌صورت هفتگی انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و جهت حفظ خصوصیات شیمیایی در دمای یخچال ۲-۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند. کلیه مراحل نمونه‌برداری، انتقال نمونه و آنالیز آزمایشگاهی مطابق روش‌های استاندارد برای

آب‌های زیرزمینی، میزان زمین در دسترس، عمر طرح، جنس زمین، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، نرخ تورم، نرخ بهره بانکی، وضعیت توسعه منطقه، شرایط گردشگری و فرهنگی، پتانسیل‌های بالقوه منطقه، شرایط رفاهی و بهداشتی، مسائل سیاسی، امنیتی و اجتماعی هر منطقه است که استفاده از روش موردنظر را ممکن می‌سازد. در چنین شرایطی روش‌های آسان، ارزان و کارآمد پالایش پساب آلوده که فاقد تبعات اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی باشند از اهمیت دوچندان برخوردار می‌گردند و زمینه را برای تلاش پژوهشگران فراهم می‌سازند [۶]. فرآیندهای مختلف بیولوژیکی برای حذف یا کاهش مواد آلاینده فاضلاب وجود دارد که هرکدام از آن‌ها دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند. اما در میان دستگاه‌های مختلف تصفیه، سیستم متداول، فرآیند لجن فعال است که باوجود نیاز به تجهیزات مکانیکی و الکتریکی و صرف انرژی، یکی از بهترین و کارآمدترین فرآیندها در تصفیه فاضلاب‌های شهری به‌شمار می‌رود [۷]. فرایند لجن فعال هوادهی گسترده که غالباً در تصفیه‌خانه‌های کوچک به کار گرفته می‌شود شامل یک استخر هوادهی و استخر ته‌نشینی است که مخلوط لجن از استخر هوادهی به استخر ته‌نشینی، که در آن لجن از پساب جدا می‌شود، منتقل می‌گردد. اساس کار در فرآیند لجن فعال هوازی، شامل هوادهی فاضلاب خام در مجاورت میکروارگانیسم‌ها در حوضچه هوادهی و سپس جداسازی جرم میکروبی از فاضلاب هوادهی شده در حوض‌های ته‌نشینی و به دست آوردن پساب تصفیه‌شده است [۸]. در مقابل این روش‌ها فرآیندهای کم‌هزینه‌تر نیز وجود دارد که جزء فرآیندهای تصفیه طبیعی می‌باشند که نیزارهای مصنوعی در این دسته قرار دارند [۹]. یکی از این روش‌های بیولوژیکی مؤثر و کارا که می‌تواند عملکرد آن مورد بررسی قرار گیرد نیزار مصنوعی است. این روش قرن‌های زیادی است که انسان‌ها از آن برای کنترل آلودگی استفاده می‌کنند [۱۰]. از مزایای سیستم‌های نیزار مصنوعی می‌توان به هزینه‌های پایین ساخت و بهره‌برداری و نگهداری، عدم نیاز به بهره‌برداران متخصص، مصرف پایین انرژی، ارزان بودن و همچنین به‌کارگیری آن‌ها برای جوامع کوچک و تا حدودی بزرگ اشاره نمود. از جمله معایب نیزارهای مصنوعی می‌توان به مواردی هم نامطلوب برخی از آلاینده‌های سمی روی عملکرد نیزار مصنوعی و نابودی گیاهان و رشد پشه و حشرات در مجاورت آن را نام برد [۱۱]. در مطالعه‌ای که پیر صاحب و همکاران در سال ۱۳۹۲ بر روی کارایی فرآیند لجن فعال از نوع هوادهی گسترده جهت تصفیه فاضلاب شهر پاوه انجام دادند، نتایج نشان داد که میزان حذف COD و TSS در فصل زمستان به ترتیب برابر با ۸۹/۱ و ۷۲/۱٪ و میزان حذف این پارامترها در فصل تابستان به ترتیب برابر با ۹۱/۰۶ و ۷۶/۳۶ درصد بود [۱۲]. در مطالعه‌ای که فرزاد کیا و همکاران در سال ۱۳۹۲ بر روی کارایی نیزار مصنوعی در حذف مواد آلی از فاضلاب شهری انجام داده بودند، نتایج نشان داد که این تصفیه‌خانه فاضلاب در حذف مواد آلی دارای متوسط راندمان حذف برای BOD و COD به ترتیب ۶۶/۷۸

آزمایش‌ها آب و فاضلاب انجام شد [۱۶]. تمامی مواد شیمیایی و معرف‌ها با کیفیت پایه آزمایشگاهی با درجه خلوص ۹۹/۹۹ درصد از شرکت مارس، آلمان، خریداری شدند. جهت تهیه محلول‌های استاندارد از آب مقطر دو بار تقطیر تهیه شده در آزمایشگاه استفاده گردید.

**یافته‌ها**

نتایج مطالعه نشان داد بیشترین کارایی سیستم در فصل تابستان و ماه تیر قابل دستیابی است. کارایی سیستم هوادهی گسترده در حذف COD، BOD و TSS به ترتیب در محدوده ۹۷٪-۷۵/۳٪، ۹۵/۱٪-۷۱/۵٪ و ۸۰/۳٪-۵۲/۷۸٪ به دست آمد. این مقادیر برای نیزار مصنوعی به ترتیب ۹۵/۶۷٪-۶۶/۸٪، ۹۳/۴٪-۶۷/۱٪ و ۸۷/۴۱٪-۴۶/۳٪ حاصل شد. راندمان هوادهی گسترده بیش از نیزار مصنوعی به دست آمد. مطابق نتایج حاصله با کاهش دمای هوا کارایی دستگاه‌های تصفیه نیز کاهش یافت به گونه‌ای که کمترین کارایی در اسفند مشاهده شد و در تیرماه شاهد حداکثر کارایی سیستم‌های تصفیه بودیم. همچنین راندمان حذف کل جامدات معلق نسبت به سایر پارامترها در حداقل قرار داشت. در این مطالعه جهت تعیین مدل حاکم بر سیستم از طراحی ترکیب مرکزی جهت یافتن ارتباط بین پاسخ‌های فرایند و متغیرها استفاده شد. نتایج آزمایشگاهی به دست آمده برای ۳ پاسخ (Y1-Y3) در جداول ۲ و ۳ آمده است. بر اساس طراحی آزمایش‌ها مدل سطح پاسخ که نشان دهنده ارتباط کارایی نیزار مصنوعی و لجن فعال با متغیرهای وابسته بود، به خوبی با نتایج آزمایشگاهی هماهنگ بود. **جدول ۴** مدل‌های اصلاح شده برگ خریدهای کدگذاری شده همراه با معناداری مدل و نتایج آنالیز واریانس را برای پاسخ‌ها ارائه داده

جدول ۱: سطح متغیرهای مورد بررسی

تغییر	سطح		
	-۱	۰	+۱
فصل	۱ (تابستان)	۲ (پاییز)	۳ (زمستان)
ماه	۱	۲	۳

جدول ۲: میانگین راندمان نیزار مصنوعی در حذف ترکیبات مورد بررسی

Run	Responses, %			B ماه	A فصل
	TSS	BOD	COD		
۱	۸۷/۴۱	۹۲/۴	۹۵/۶۷	تیر	تابستان
۲	۸۱/۳۴	۹۰/۲	۹۲/۱	مرداد	تابستان
۳	۷۸/۱۲	۸۶/۹	۸۹/۷	شهریور	تابستان
۴	۷۳/۱	۸۲/۱	۸۵/۲۲	مهر	پاییز
۵	۷۰/۲	۸۰/۲	۸۱/۳	آبان	پاییز
۶	۶۴/۳	۷۷/۱	۷۸/۲	آذر	پاییز
۷	۵۵/۳	۷۳	۷۴/۱	دی	زمستان
۸	۵۱/۳۶	۷۰	۷۰/۷	بهمن	زمستان
۹	۴۶/۳	۶۷/۱	۶۶/۸	اسفند	زمستان

جدول ۳: میانگین راندمان سیستم هوادهی گسترده در حذف ترکیبات مورد بررسی

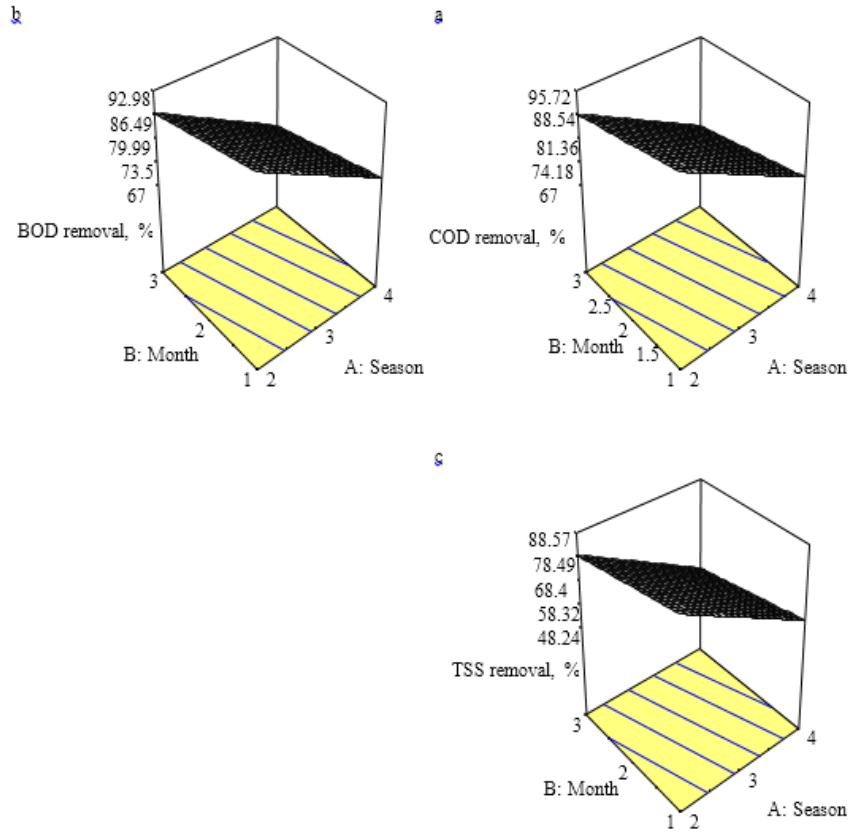
Responses, %			B ماه	A فصل	Run
TSS	BOD	COD			
۸۰/۲	۹۵/۱	۹۷	تیر	تابستان	۱
۷۸/۲	۹۲/۱۳	۹۴/۲	مرداد	تابستان	۲
۷۵/۶۴	۹۰/۲۱	۹۱/۵	شهریور	تابستان	۳
۷۱/۵۲	۸۷/۴۴	۸۸/۳۴	مهر	پاییز	۴
۶۷/۱۲	۸۳/۵۶	۸۵/۱۲	آبان	پاییز	۵
۶۳/۲۱	۸۰/۱۲	۸۴/۱۶	آذر	پاییز	۶
۶۰/۱۱	۷۷/۲۳	۷۸/۲۵	دی	زمستان	۷
۵۶/۸	۷۴/۱۱	۷۵/۳	بهمن	زمستان	۸
۵۲/۷۸	۷۱/۵	۷۲/۳۱	اسفند	زمستان	۹

جدول ۴: نتایج آزمون آنالیز واریانس برای حذف ترکیبات مورد بررسی

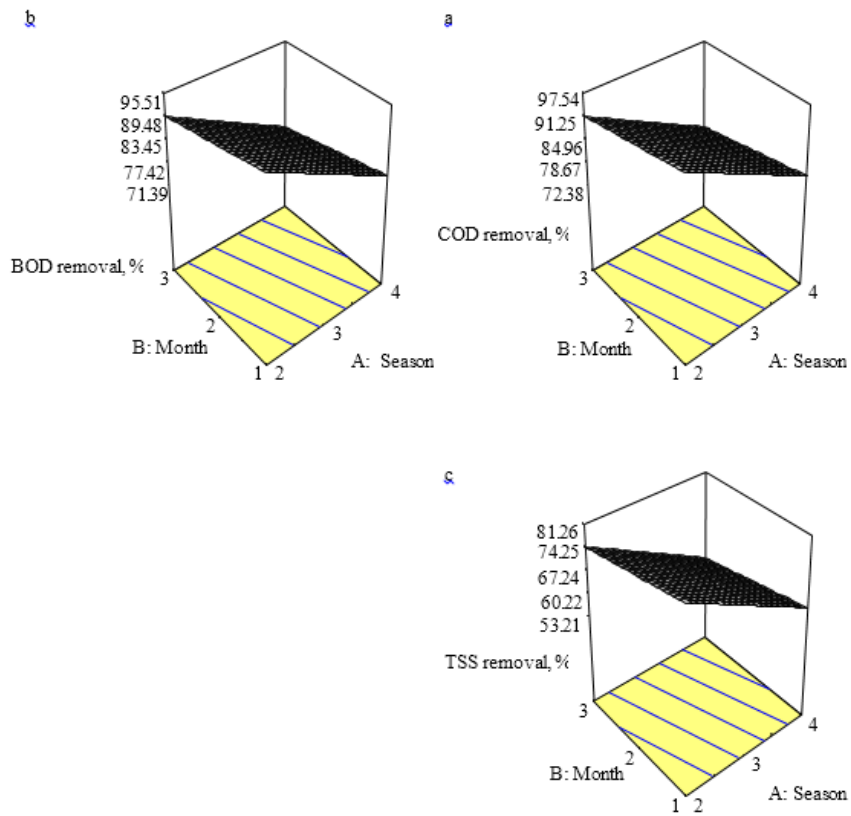
Adeq Precision	Pred-R <sup>2</sup>	Adj-R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	S.D	F-Value	Sum of Squares	Mean	Model	Equation	Response, %
نیزار مصنوعی										
۱۴/۱۸	-۰/۸۱۲	-۰/۸۰۲	-۰/۸۱۶	۴/۲۲	۲۲/۲۸	۷۹۱/۷۶	۸۱/۳۶	Linear	Y1 = +81.36-10.98A-3.38B	<b>COD</b>
۱۲/۶۴	-۰/۷۸۱	-۰/۷۸	-۰/۸۰۱	۴/۲۷	۱۸/۰۷	۶۵۸/۴۹	۸۰/۰۲	Linear	Y2 = +80.02-10.07A-2.9B	<b>BOD</b>
۱۷/۶۵	-۰/۸۴۱	-۰/۸۵۱	-۰/۸۷۵	۴/۷۵	۵۳/۲۸	۱۵۹۲/۱۶	۶۸/۴	Linear	Y3 = +68.4-15.65A-4.52B	<b>TSS</b>
هوادهی گسترده										
۱۹/۳۷	-۰/۸۷	-۰/۸۶۹	-۰/۸۹	۲/۷	۴۰/۸۲	۵۹۶/۵	۸۴/۹۶	Linear	Y1 = +84.96-9.48A-3.11B	<b>COD</b>
۱۶/۰۱	-۰/۸۱۸	-۰/۸۱۷	-۰/۸۴۸	۳/۱۳	۲۷/۸۹	۵۸۴/۰۹	۸۳/۴۵	Linear	Y2 = +83.45-9.08A-2.97B	<b>BOD</b>
۱۶/۸۹	-۰/۸۳۲	-۰/۸۳۵	-۰/۸۶۳	۳/۴۶	۳۱/۵۱	۷۵۲/۵۴	۶۷/۲۴	Linear	Y3 = +67.24-10.69A-3.33B	<b>TSS</b>

جدول ۵: آزمایشها در شرایط بهینه

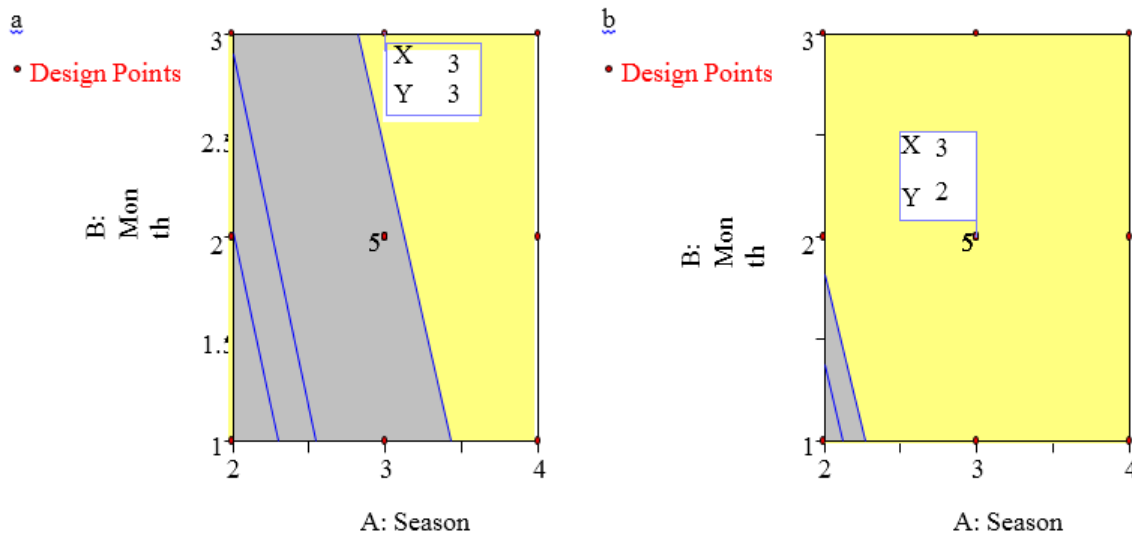
Responses, %			Conditions	Treatment system
TSS Removal	BOD5 removal	COD removal		
نیزار مصنوعی				
۴۶/۳	۶۷/۱	۶۶/۸	Winter/March	<b>Experimental values</b>
۶۳/۸۸	۷۷/۱۱	۷۷/۹۷	Winter/March	<b>Model response with CI 95% Error</b>
۵/۳	۴/۷۶	۴/۷	Winter/March	<b>Standard deviation</b>
هوادهی گسترده				
۵۶/۸	۷۴/۱۱	۷۵/۳	Winter/February	<b>Experimental values</b>
۶۷/۲۴	۸۳/۴۵	۸۴/۹۶	Winter/February	<b>Model response with CI 95% Error</b>
۳/۵۹	۳/۲۵	۲/۸۱	Winter/February	<b>Standard deviation</b>



تصویر ۱: کارایی سیستم نیزار مصنوعی در حذف (a) COD، (b) BOD5 و (c) TSS



تصویر ۲: کارایی سیستم هوادهی گسترده در حذف (a) COD، (b) BOD5 و (c) TSS



تصویر ۳: شرایط بهینه بر اساس ۳ پاسخ فرایند برای (a) نیزار مصنوعی و (b) هوادهی گسترده

که راندمان حذف COD، BOD5 و TSS به ترتیب برابر با ۸۷/۲۹٪، ۸۷/۲۵٪ و ۷۷/۹۱٪ است. که نشان‌دهنده کارآمد بودن سیستم تصفیه است [۲۱]. در مطالعه و همکاران (۲۰۱۵) در خصوص ارزیابی حذف مواد آلی با استفاده از لجن فعال مشخص گردید سیستم مذکور قابلیت حذف COD و BOD5 را به ترتیب در محدوده برابر با ۸۹/۷٪-۸۷/۳٪ و ۸۶/۹۸٪-۷۹/۸۹٪ را در فاضلاب شهری دارا است [۲۲]. که در راستای نتایج مطالعه کنونی است. پژوهش ززولی و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که در حذف مواد آلی از لجن فعال متداول در تصفیه فاضلاب شهر گلستان میانگین راندمان حذف COD، BOD و TSS به ترتیب ۹۶/۶۶٪، ۹۸/۲٪ و ۹۷/۶٪ است [۷]. نتایج مطالعه نزولی با نتایج مطالعه حاضر تطابق دارد. مطالعه Fan بر روی تأثیر انواع نیزار در حذف آلاینده‌ها نشان داد که درصد حذف BOD ۸۹/۹٪ درصد بوده است [۲۳]. که با نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر مطابقت دارد. اختلاف در کارایی سیستم‌های لجن فعال در مطالعات مختلف به دلیل اختلاف راکتور لجن فعال، سیستم هوادهی، فاضلاب مورد استفاده، شرایط راهبری و... دارد [۲۴-۲۶]. در روش طراحی سطح پاسخ مقادیر به دست آمده از آنالیز واریانس درجه معناداری مدل‌ها را تعیین نمود. مطابق مطالعات صورت گرفته معناداری مدل‌های تعیین شده با مقادیر بالای آماره F و پایین پی-مقدار تعریف می‌شوند [۱۵]. پی-مقدار کوچک‌تر از ۰/۰۰۱ در تمامی مدل‌های اصلاح شده فرایند در دو سیستم بر معناداری بالای مدل‌ها دلالت می‌کند. به عبارتی تنها ۰/۰۱ درصد احتمال دارد که معناداری مدل‌ها در اثر خطا رخ داده باشد. همچنین پی-مقدار کوچک‌تر از ۰/۰۵ نشان می‌دهد که اصطلاحات مدل‌های حاصل معنادار هستند. در این مورد تمامی فاکتورهای مورد آزمون از معناداری بالایی برخوردار بودند زیرا

## بحث

امروزه در اکثر نقاط دنیا از مناطق گرم و معتدل گرفته تا سردسیر، از وتلند برای تصفیه و کنترل انواع آلودگی‌ها استفاده شده است. عملکرد وتلند وابسته به مکانیسم‌های مختلفی هم چون فیزیکی (فیلتراسیون، ته‌نشینی، تجمع بیولوژیکی و اشعه ماورای بنفش)، اکسیداسیون شیمیایی و بیولوژیکی، جذب سطحی و تماس با سموم منتشره توسط میکروارگانیسم‌ها و گیاهان است [۱۷] در مطالعه فرزاد کیا و همکاران (۱۳۹۲) متوسط راندمان حذف BOD5 و COD در نیزار مصنوعی برابر با ۶۶/۷۸٪ و ۷۱/۷۷٪ به دست آمد. همچنین بهترین راندمان حذف در فصل گرم و پایین‌ترین کارایی سیستم در فصل سرد مشاهده شد که در راستای نتایج حاصل از مطالعه کنونی است [۱۸]. مطالعه الماسی و همکاران بر روی دستگاه‌های وتلند در دو واحد جداگانه نشان داد میانگین راندمان حذف COD و BOD در اولین واحد تصفیه ۲۹/۴۹٪ و ۴۲/۶۳٪ و در دومین واحد تصفیه ۲۹/۸۵٪ و ۶۶/۴۲٪ به دست آمد [۱۹]. که مغایر با نتایج مطالعه حاضر است. مطالعه هاموری و همکاران در سال ۲۰۰۷ نشان داد میزان حذف COD در نیزار زیرسطحی جهت تصفیه فاضلاب سپتیک تانک ۶۵/۸٪ است [۲۰]. تفاوت در نتایج مطالعات وتلند به اختلاف در نوع فاضلاب مورد استفاده، شرایط آب و هوایی، اختلاف درجه حرارت، شدت نور خورشید، اختلاف در وضعیت فیزیکی سطح آب، عمق آب و نوع گیاه است [۱۹]. فرایند لجن فعال با وجود نیاز به تجهیزات مکانیکی و الکتریکی و صرف انرژی یکی از بهترین و کارآمدترین فرایندها در تصفیه فاضلاب است. در مطالعه باقری اردبیلیان و همکاران در سال ۲۰۱۰ کارایی تصفیه‌خانه شهر زنجان که به صورت لجن فعال راهبری می‌شود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد

که از نتایج برمی آید میانگین حذف مواد آلی در سیستم‌های مورد مطالعه تابع مدل خطی است.

### نتیجه‌گیری

قبل از طراحی و به‌کارگیری سیستم‌های مکانیکی، آنالیز اولیه فاضلاب و تعیین میزان آلاینده‌های ورودی می‌تواند کمک شایانی در به‌کارگیری سیستم مناسب تصفیه ایفا نماید. نتایج مطالعه نشان داد روش طراحی سطح پاسخ به‌خوبی از عهده تفسیر کارایی سیستم‌های مختلف تصفیه و مقایسه کارایی آن‌ها با یکدیگر برمی آید. کارایی سیستم هوادهی گسترده بیشتر از نینزار مصنوعی بود. در مجموع میزان حذف BOD برای سیستم نینزار مصنوعی در مقایسه با بسیاری از سیستم‌های مکانیکی پرهزینه، با مصرف انرژی بالا و بهره‌برداری مشکل، از وضعیت خوب و قابل قبولی برخوردار بود.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی با کد طرح ۹۵۱۱۱۲۶۷۵۲ مصوب دانشگاه علوم پزشکی همدان است که بدین‌وسیله از معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه در تأمین هزینه‌های آن تشکر و قدردانی می‌گردد.

پی- مقدار کوچک‌تر از ۰/۰۵ به دست آمد. معنادار نبودن عدم برآزش نشان‌دهنده قابلیت پیش‌بینی خوب مدل است. همچنین تناسب مدل‌های حاصله توسط ضرایب تعیین کلی، اصلاح‌شده و پیش‌بینی‌شده بین مقادیر آزمایشگاهی و پیش‌بینی‌شده مدل تأیید شد. به‌طوری‌که ضرایب تعیین کلی، اصلاح‌شده و پیش‌بینی‌شده نزدیک به یکدیگر به دست آمد. ضریب تعیین کلی به‌عنوان نسبت متغیر شرح داده‌شده به‌تمامی متغیرها و سنجش درجه تناسب مدل تعریف‌شده است که در تمامی مدل‌ها به‌طور منطقی بالا بود. ضریب تعیین قدرت و جهت ارتباط خطی متغیرها را بررسی می‌کند که بر اساس نتایج حاصله قدرت بالای ارتباط خطی متغیرهای مطالعه را نشان می‌دهد. در روش سطح پاسخ سنجش میزان صحت و دقت تعیین‌کننده میزان خطا در آزمایش‌ها است. در صورتی‌که این مقدار بیش از ۴ باشد دقت و صحت مدل‌ها مطلوب گزارش می‌شود [۲۷]. این نسبت در تمامی پاسخ‌های مورد مطالعه در هر سیستم‌های مورد مطالعه بیش از ۴ به دست آمد. علاوه بر این مقادیر پایین انحراف استاندارد نشان‌دهنده صحت قابل‌ملاحظه و قابلیت اعتماد بالای نتایج حاصله است [۲۸]. نتایج نشان داد یافته‌ها با پیش‌بینی مدل در یک راستا قرار دارند و با یکدیگر هم‌خوانی دارند. همچنان

### References

- Haghsheenas-Adarmanabadi A, Heidarpour M, Tarkesh-Esfahani S. Study of the Efficiency of Hybrid Subsurface Constructed Wetlands in Reducing the Organic Loading of Municipal Wastewater Treatment Plants Using Various Aquatic Plants. *J Water Soil Sci.* 2016;20(77):111-26. DOI: [10.18869/acadpub.jstnar.20.77.111](https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.20.77.111)
- Misiti T, Tezel U, Pavlostathis SG. Fate and effect of naphthenic acids on oil refinery activated sludge wastewater treatment systems. *Water Res.* 2013;47(1):449-60. DOI: [10.1016/j.watres.2012.10.036](https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.10.036) PMID: [23141768](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23141768/)
- Hu M, Wang X, Wen X, Xia Y. Microbial community structures in different wastewater treatment plants as revealed by 454-pyrosequencing analysis. *Bioresour Technol.* 2012;117:72-9. DOI: [10.1016/j.biortech.2012.04.061](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.061) PMID: [22609716](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22609716/)
- Cirja M, Ivashechkin P, Schäffer A, Corvini PFX. Factors affecting the removal of organic micropollutants from wastewater in conventional treatment plants (CTP) and membrane bioreactors (MBR). *Rev Environ Sci Bio/Technol.* 2007;7(1):61-78. DOI: [10.1007/s11157-007-9121-8](https://doi.org/10.1007/s11157-007-9121-8)
- Melidis P, Vaiopoulou E, Aivassidis A. Development and implementation of microbial sensors for efficient process control in wastewater treatment plants. *Bioprocess Biosyst Eng.* 2008;31(3):277-82. DOI: [10.1007/s00449-007-0192-2](https://doi.org/10.1007/s00449-007-0192-2) PMID: [18193294](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18193294/)
- Massoud MA, Tarhini A, Nasr JA. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: applicability in developing countries. *J Environ Manage.* 2009;90(1):652-9. DOI: [10.1016/j.jenvman.2008.07.001](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001) PMID: [18701206](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18701206/)
- Zazouli M, Ghahramani E, Ghorbanian AlahAbad M, Nikouie A, Hashemi M. Survey of Activated Sludge Process Performance in Treatment of Aghala Industrial Town Wastewater in Golestan Province in 2007. *Iranian J Health Environ.* 2010;3(1):59-66.
- Luo Y, Guo W, Ngo HH, Nghiem LD, Hai FI, Zhang J, et al. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Sci Total Environ.* 2014;473-474:619-41. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2013.12.065](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065) PMID: [24394371](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24394371/)
- Kadlec K, Schwarz S. Identification of a novel trimethoprim resistance gene, *dfrK*, in a methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* ST398 strain and its physical linkage to the tetracycline resistance gene *tet(L)*. *Antimicrob Agents Chemother.* 2009;53(2):776-8. DOI: [10.1128/AAC.01128-08](https://doi.org/10.1128/AAC.01128-08) PMID: [19015335](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19015335/)
- Vymazal J. Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. *Environ Sci Technol.* 2011;45(1):61-9. DOI: [10.1021/es101403q](https://doi.org/10.1021/es101403q) PMID: [20795704](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20795704/)
- Alahmady KK, Stevens K, Atkinson S. Effects of Hydraulic Detention Time, Water Depth, and Duration of Operation on Nitrogen and Phosphorus Removal in a Flow-Through Duckweed Bioremediation System. *J Environ Eng.* 2013;139(2):160-6. DOI: [10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0000627](https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000627)
- Pirsaheb M, Khamutian R, Dargahi A. Efficiency of Activated Sludge Process (Extended Aeration) in Removal of Linear Alkyl Benzene Sulfonate (LAS) from Municipal Wastewater-Case Study: Wastewater Treatment of Pavah City. *J Health.* 2013;4(3):249-59.
- Farzadkia M, Kermani M, Nadafi K, Abouee Mehrizi E. [Investigation the Efficiency of Organic Matter Removal in the Subsurface Artificial Wetland: the Kinetic's Coefficients]. *Toloo e Behdasht.* 2013;12(2):136-46.
- Ghasemi E, Sillanpaa M. Optimization of headspace solid phase microextraction based on nano-structured ZnO combined with gas chromatography-mass spectrometry for preconcentration and determination of ultra-traces of chlorobenzenes in environmental samples. *Talanta.* 2014;130:322-7. DOI: [10.1016/j.talanta.2014.06.030](https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.06.030) PMID: [25159416](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25159416/)
- Pirsaheb M, Mohamadi M, Mansouri AM, Zinatizadeh AAL, Sumathi S, Sharafi K. Process modeling and optimization of biological removal of carbon, nitrogen and phosphorus from hospital wastewater in a continuous feeding & intermittent



- discharge (CFID) bioreactor. *Kor J Chem Eng.* 2015;32(7):1340-53. DOI: [10.1007/s11814-014-0365-z](https://doi.org/10.1007/s11814-014-0365-z)
16. APH A, AWW A, WPC F, WE F. Standard methods for the examination of water and wastewater. USA: American Public Health Association; 1915.
  17. Ayaz SÇ. Post-treatment and reuse of tertiary treated wastewater by constructed wetlands. *Desalin.* 2008;226(1-3):249-55. DOI: [10.1016/j.desal.2007.02.110](https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.110)
  18. Farzadkia M, Ehrampoush M, Kermani M, Nadafi K, Aouei M. [Investigation the efficiency of organic matter removal in the subsurface artificial wetland: The kinetics coefficients]. *Toloo e Behdasht.* 2013;12(39):136-46.
  19. Almasi A, Dargahi A, Hoseini M, Janjani H, Mohammadi M, Tabandeh L. Efficiency of a constructed wetland in controlling organic pollutants, nitrogen, and heavy metals from sewage. *J Chem Pharm Sci.* 2016;9(4):2924-8.
  20. El Hamouri B, Nazih J, Lahjouj J. Subsurface-horizontal flow constructed wetland for sewage treatment under Moroccan climate conditions. *Desalin.* 2007;215(1-3):153-8. DOI: [10.1016/j.desal.2006.11.018](https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.11.018)
  21. Bagheri Ardebilian P, Sadeghi H, Nabaii A, Bagheri Ardebilian M. [Assessment of Wastewater Treatment Plant Efficiency: a Case Study in Zanjan]. *J Health.* 2010;1(3):67-75.
  22. Shahmoradi M, Mahaee M, Abouee Mehrizi E, Ghorbanpoor R. [Investigation into organic matter and nutrient removal in an activated sludge wastewater treatment system: case study of Bojnurd]. *J North Khorasan Univ Med Sci.* 2014;5(5):927-33.
  23. Fan C, Chang F-C, Ko C-H, Sheu Y-S, Teng C-J, Chang T-C. Urban pollutant removal by a constructed riparian wetland before typhoon damage and after reconstruction. *Ecol Eng.* 2009;35(3):424-35. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2008.10.013](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.10.013)
  24. Cornelissen E, Harmsen D, Dekorte K, Ruiken C, Qin J, Oo H, et al. Membrane fouling and process performance of forward osmosis membranes on activated sludge. *J Membrane Sci.* 2008;319(1-2):158-68. DOI: [10.1016/j.memsci.2008.03.048](https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.03.048)
  25. Appels L, Baeyens J, Degève J, Dewil R. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progr Energy Combust Sci.* 2008;34(6):755-81. DOI: [10.1016/j.peccs.2008.06.002](https://doi.org/10.1016/j.peccs.2008.06.002)
  26. Hashimoto T, Onda K, Nakamura Y, Tada K, Miya A, Murakami T. Comparison of natural estrogen removal efficiency in the conventional activated sludge process and the oxidation ditch process. *Water Res.* 2007;41(10):2117-26. DOI: [10.1016/j.watres.2007.02.029](https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.02.029) PMID: [17416401](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17416401/)
  27. Almasi A, Dargahi A, Mohamadi M, Biglari H, Amirian F, Raei M. Removal of Penicillin G by combination of sonolysis and Photocatalytic (sonophotocatalytic) process from aqueous solution: process optimization using RSM (Response Surface Methodology). *Electron Physician.* 2016;8(9):2878-87. DOI: [10.19082/XX](https://doi.org/10.19082/XX) PMID: [27790339](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27790339/)
  28. Almasi A, Dargahi A, Mohammadi M, Azizi A, Karami A, Baniamerian F, et al. Application of response methodology on cefixime removal from aqueous solution by ultrasonic/ photooxidation. *Int J Pharm Technol.* 2016;8(3):728-36.



## Application of Response Surface Method to Compare the Performance of Wetland and Extended Aeration System for the Removal of Organic Matter from Sanitary Wastewater

Reza Shokoohi <sup>1</sup>, Abdollah Dargahi <sup>2,\*</sup>, Amir Karami <sup>2</sup>, Mitra Mohammadi <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

<sup>2</sup> Student Research Committee, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

<sup>3</sup> Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

\* **Corresponding author:** Abdollah Dargahi, Student Research Committee, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. E-mail: a.dargahi29@yahoo.com

DOI: 10.21859/psj-15031

Received: 6 Jun 2017

Accepted: 14 Feb 2017

### Keywords:

Wetland  
Extended Aeration  
Sanitary Wastewater  
Organic Compound  
Response Surface  
Methodology

© 2017 Hamadan University  
of Medical Sciences

### Abstract

**Introduction:** Organic compounds are one of the most important quality characteristics in wastewater treatment. The aim of this study was to compare the efficiency of wetland and extended aeration activated sludge in the removal of organic compounds from sanitary wastewater based on response surface methodology.

**Methods:** In this experimental study, 100 mixed samples were taken from wetland and extended aeration reactors. According to the type of wastewater treatment and operating time, COD, BOD<sub>5</sub>, and TSS were measured. Sampling, transportation, storage, and measurement were performed according to standard methods. Experimental setting, modeling, removal equation of organic compounds, and optimal condition was obtained by response surface methodology.

**Results:** Maximum removal of COD, BOD<sub>5</sub>, and TSS (in summer) in wetland were 95.67%, 93.4%, and 87.41%; in extended aeration this was 97%, 65.1%, and 80.2%, respectively. Efficiency of extended aeration was better than wetland in all seasons and all parameters. R<sup>2</sup>: 0.8 to 0.89 confirms the effect of operating time on wastewater treatment efficiency. Validity and accuracy in wetland and extended aeration were 12.64 to 17.65 and 16.01 to 19.37, respectively. Removal model in both wetland and extended aeration was linear.

**Conclusions:** Efficiency of extended aeration is more than wetland. Response surface methodology properly describes organic compound removal efficacy by extended aeration and wetland.

### How to Cite this Article:

Shokoohi R, Dargahi A, Karami A, Mohammadi M. Application of Response Surface Method to Compare the Performance of Wetland and Extended Aeration System for the Removal of Organic Matter from Sanitary Wastewater. *Pajouhan Scie J.* 2017; 15(3):1-9. DOI: 10.21859/psj-15031