

# بهینه‌سازی فرآیند کلر زنی در گندزدایی شیرابه زباله کهنه

## با استفاده از روش سطح پاسخ

حمزه علی جمالی<sup>۱</sup>، کاووس دیندارلو<sup>۲</sup>، مهرداد فرخی<sup>۳\*</sup>

۱. گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران

۲. گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندر عباس، ایران

۳. گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۹/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۲۳

### چکیده

**زمینه و هدف:** شیرابه زباله شهری بدلیل بار آلودگی بالای میکروبی، یکی از تهدیدات بزرگ زیست محیطی مکان‌های دفن پسماند محسوب می‌گردد. کلر زنی یکی از روش‌های ساده گندزدایی آب و فاضلاب محسوب می‌گردد اما برای گندزدایی شیرابه مورد توجه قرار نگرفته است. هدف از این تحقیق بررسی کارایی کلر در گندزدایی شیرابه و بهینه سازی اثر متغیرهای غلظت و زمان تماس در حذف کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی به عنوان شاخص آلودگی میکروبی بود.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه توصیفی-تحلیلی، پایش شاخص‌های باکتریایی در شیرابه مکان دفن پسماندهای شهر قزوین طی یک سال انجام شد. سپس با انجام آزمایشات مقدماتی، دامنه غلظت کلر و زمان تماس در غیر فعال سازی شاخص‌های میکروبی شیرابه مورد بررسی قرار گرفت. جهت بهینه سازی اثر متغیرهای موثر شامل غلظت کلر و زمان تماس در غیر فعال سازی این شاخص‌ها، روش پاسخ سطح بر اساس طرح مرکب مرکزی بکار گرفته شد. بر این اساس تعداد ۱۳ آزمایش روی نمونه‌ها انجام شد. آزمایشات شامل BOD، COD، کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی بود. تمامی آزمایشات بر اساس دستورالعمل ارائه شده در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب بود.

**یافته‌ها:** نتیجه این مطالعه نشان داد که شاخص‌های آلودگی میکروبی دارای حساسیت نسبتاً بالایی نسبت به غیر فعال سازی با کلر دارند، بطوریکه در غلظت کلر ۲ mg/L و زمان ماند ۹ دقیقه ۱۰۰٪ کل کلی فرم‌ها و در غلظت کلر ۱ mg/L و ۰/۵ زمان ماند ۱۲ دقیقه ۱۰۰٪ کلی فرم‌های مدفوعی از بین رفتند. با استفاده از روش سطح پاسخ شرایط بهینه غیر فعال سازی این باکتری‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج تحلیل نشان داد که در زمان تماس و غلظت کلر بترتیب برابر با ۹/۴ min و ۲/۹۹ mg/L، راندمان غیر فعال سازی کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی بترتیب به ۸۹/۱۶٪ و ۱۰۰٪ می‌رسد.

**نتیجه گیری:** جهت گندزدایی شیرابه می‌توان از کلر استفاده نمود. با اینحال در صورت وجود بار آلی بالا در شیرابه، با توجه به پتانسیل ایجاد محصولات جانبی ناشی از کلر زنی، در انتخاب کلر به عنوان گندزدا، بایستی ملاحظات بهداشتی و زیست محیطی مد نظر قرار گیرد.

**کلمات کلیدی:** شیرابه، گندزدایی، کلر زنی، روش سطح-پاسخ، مدل سازی

## مقدمه

دفن بهداشتی بطور گسترده ای برای دفع پسماندهای شهری بکار می‌رود.<sup>۱،۲</sup> در یک جایگاه دفن، آب ناشی از بارش‌های آسمانی، نشست آب‌های سطحی و زیر زمینی و رطوبت موجود در پسماند باعث انحلال مواد قابل حل در مایع شده و در نهایت مایع سیاه رنگی بنام شیرابه از توده پسماند دفن به بیرون نشست می‌کند.<sup>۳،۴</sup> اگر طبق اصول مهندسی یک جایگاه دفن طراحی و بطور اصولی مورد بهره برداری قرار گیرد، اثرات زیست محیطی آن کاهش می‌یابد، اما باز هم شیرابه تولیدی یکی از خطرات بزرگ زیست محیطی محسوب می‌گردد.<sup>۵</sup> خصوصیات کیفی شیرابه با توجه به ترکیبات پسماند، میزان بارش، هیدرولوژی مکان دفن، پوشش سطح مکان دفن، روش طراحی و نحوه بهره برداری متغیر است. روش‌های تصفیه فیزیکی، شیمیایی و زیستی گوناگونی برای زدایش آلاینده‌های آلی قابل تجزیه و غیر قابل تجزیه زیستی، اسیدهای هیومیک و فولویک و مواد معدنی از قبیل فلزات سنگین، سدیم، کلسیم، سولفات، آمونیاک و سموم با غلظت بالا بکار می‌رود.<sup>۶</sup> در پسماندهای شهری جوامع در حال توسعه، دامنه وسیعی از عوامل بیماری زای روده ای شامل عوامل انگلی و بیماری زا که در دستگاه گوارش انسانی وجود دارد، یافت می‌شود.<sup>۷</sup> عموماً، بدلیل شرایط سخت محیط برای عوامل بیماری زا، تمامی آنها غیر فعال شده و یا در طی تجزیه مواد آلی از بین می‌روند.<sup>۸</sup> با اینحال احتمال حضور باکتری‌های بیماری زا در شیرابه وجود دارد. در مقایسه با اطلاعات موجود درباره خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شیرابه، اطلاعات درباره تنوع باکتری‌های بیماری زای موجود در این نوع فاضلاب محدود است.<sup>۹،۱۰</sup> حضور عوامل بیماری زای باکتریایی در شیرابه توسط محققین گزارش شده است.<sup>۱۱،۱۲</sup> حضور

شاخص‌هایی مثل کلی فرم‌های مدفوعی و استرپتوکوک‌ها در شیرابه، یک نگرانی جدی ناشی از شیرابه در دراز مدت است.<sup>۱۳</sup> جمعیت باکتریایی و بخصوص تعداد کل کلی فرم‌ها، کلی فرم‌های مدفوعی، استرپتوکوک‌های مدفوعی با توجه به خصوصیات شیرابه و سن مکان دفن متغیر است.<sup>۱۴</sup> باکتری‌های بیماری زا می‌توانند آب را آلوده نمایند، بنابراین بایستی برای جلوگیری از خطرات ناشی از حضور آنها، منابع آب کنترل گردند.<sup>۹</sup> در اغلب موارد از خانواده گروه کلی فرم به عنوان شاخص آلودگی میکروبی آب استفاده می‌کنند. گروه کلی فرم‌های کل شامل ۸۰ گونه مختلف با خصوصیات مشترک برای رشد در محیط کشت انتخابی هستند. هرچند کلی فرم‌های کل به تعداد زیاد در مدفوع حیوانات خونگرم وجود دارند، آنها دارای منشاء غیر مدفوعی نیز می‌باشند. حضور آنها در محیط‌های غیر مدفوعی، از اعتبار آنها به عنوان یک شاخص میکروبی مدفوعی می‌کاهد. اشریشیاکلی اختصاصی ترین شاخص میکروبی آلودگی، در مدفوع حیوانات خونگرم و پرندگان یافت می‌شود.<sup>۱۵</sup> حضور شاخص‌های میکروبی الزاماً به معنی آلودگی آب نیست، اما از آن می‌توان به عنوان شاخص آلودگی احتمالی آب به باکتری‌های بیماری زا استفاده کرد.<sup>۱۶</sup> کلر و ترکیبات آن هنوز به عنوان پرکاربردترین ترکیب گندزدا است، زیرا این ترکیب ضمن اینکه دارای پتانسیل اکسیداسیون بالایی است، بدلیل دارا بودن باقیمانده در آب باعث حفاظت از آب از آلودگی‌های ثانویه می‌شود.<sup>۱۷</sup> همچنین این اکسیدان بر روی طیف وسیعی از عوامل میکروبی موثر بوده و هزینه تامین آن پایین است.<sup>۱۸</sup> از کلر بطور گسترده‌ای در تصفیه آب و فاضلاب استفاده می‌گردد و تحقیقات زیادی در مورد خواص ضد میکروبی آن انجام شده است. اما در مورد استفاده از آن در تصفیه شیرابه تحقیقات زیادی انجام نشده است. این تحقیق



## یافته‌ها

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شیرابه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: خصوصیات کیفی شیرابه مکان دفن زباله‌های شهری

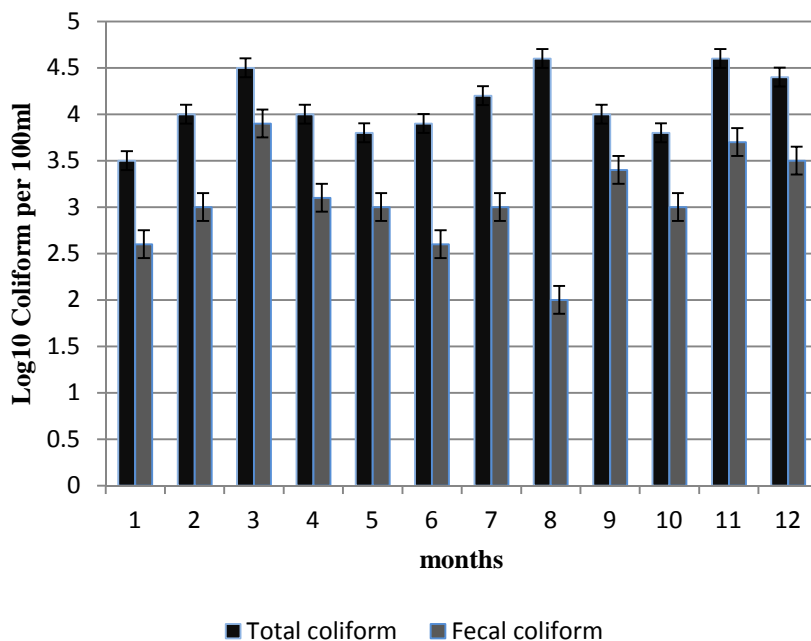
ردیف	پارامتر	مقدار متوسط
۱	درجه حرارت (°C)	۲۵
۲	pH	۷/۵
۳	COD (mg/L)	۷۵۵۰
۴	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	۸۷۰
۵	TSS (mg/L)	۲۱۰۰
۶	قلیائیت (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	۶۱۰۰
۷	BOD <sub>5</sub> /COD	۰/۱۱۵

همچنین نتایج آنالیز حاصل از پایش شاخص‌های آلودگی باکتریایی شیرابه مورد مطالعه در نمودار (۱) ارائه شده است. نتایج آزمایشات مقدماتی غیر فعال سازی کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی در زمان‌های تماس و غلظت‌های مختلف کلر در نمودار (۲) ارائه شده است.

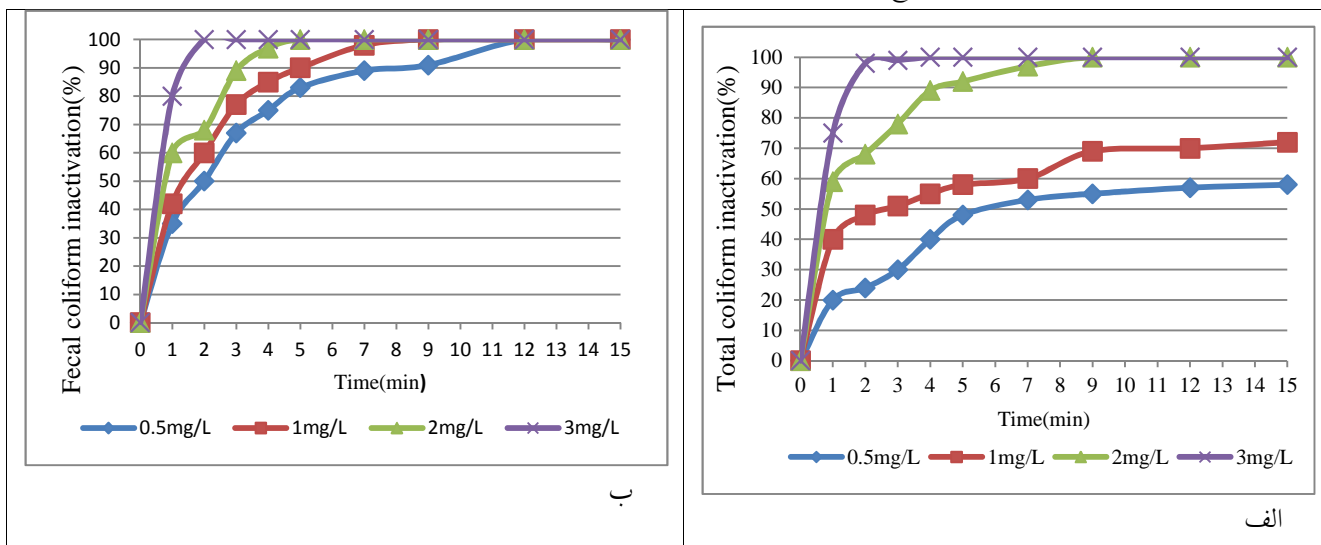
تحلیل داده‌ها بر اساس طرح مرکب مرکزی و با استفاده از نرم افزار Design Expert 7 انجام شد. معمولاً مدل‌های رتبه دوم برای برآورد شرایط بهینه بکار می‌روند. بنابراین در این مطالعه، برای ارزیابی داده‌های آزمایش، مدل مرتبه دوم (Full quadratic model) مورد استفاده قرار گرفت (رابطه ۱). جهت جلوگیری از خطای سیستمیک (Systematic bias) آزمایشات بصورت تصادفی انجام شد<sup>۲۲</sup> و<sup>۲۳</sup>. ضرایب مدل مرتبه دوم، تفسیر کننده میزان غیر فعال سازی شاخص‌های آلودگی باکتریایی (پاسخ) به عنوان عملکرد متغیرهای مستقل (فاکتورها) می‌باشند. داده‌های تحقیق به وسیله رگرسیون چند گانه (Multiple regression) آنالیز گردید. ضرایب با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) تحلیل گردید و مقدار (p > ۰/۰۵) به عنوان سطح معنی داری تعیین شد.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} \cdot x_i^2 + \sum_{i < j}^k \sum_j^k \beta_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \dots + e \quad (1)$$

که Y متغیر پاسخ، i ثابت خطی، j ثابت درجه دوم، ثابت رگرسیون، k تعداد فاکتورهای مورد مطالعه و بهینه شده در آزمایشات و e خطای تصادفی هستند.



نمودار ۱: نتایج سنجش شاخص‌های آلودگی باکتریایی شیرابه در یک دوره زمانی یک ساله



نمودار ۲: نتایج غیر فعال سازی کل کلی فرمها (الف) و کلی فرمهای مدفوعی (ب) در غلظت‌ها و زمان تماس‌های مختلف

شاخص‌های باکتریایی، در جدول (۲) ارائه شده است.

نتایج حاصل از آزمایشات طراحی شده بر اساس روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی برای غیر فعال سازی

جدول ۲: راندمان غیر فعال سازی شاخص‌های باکتریایی در شرایط مختلف آزمایشی

شماره آزمایش	شماره	زمان تماس (min)	غلظت کلر (mg/L)	راندمان حذف کل کلی فرم (%)	راندمان حذف کل مدفوعی (%)
۱	۹	۷/۵	۲	۷۹	۹۲
۲	۲	۱۰	۱	۲۰	۵۰
۳	۱	۵	۱	۲۸	۳۱
۴	۱۳	۷/۵	۲	۵۳	۸۲
۵	۳	۵	۳	۳۵	۴۵
۶	۴	۱۰	۳	۸۲	۹۵
۷	۶	۱۰	۲	۷۹	۹۰
۸	۱۲	۷/۵	۲	۷۹	۹۰
۹	۵	۵	۲	۳۴	۴۲
۱۰	۸	۷/۵	۳	۸۳	۹۱
۱۱	۱۰	۷/۵	۲	۷۳	۸۹
۱۲	۱۱	۷/۵	۲	۸۰	۹۱
۱۳	۷	۷/۵	۱	۳۰	۶۹

جدول ۳: نتایج تحلیل واریانس عوامل مدل مرتبه دوم پاسخ سطح در غیر فعال سازی کل کلی فرم‌ها در شیرابه

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F-Value	p-value Prob>F	نتیجه
مدل	۶۶۳۸/۵۳	۵	۱۳۲۷/۷۱	۱۰/۹۰	۰/۰۰۳۴	معنی دار
زمان تماس (A)	۱۱۷۶	۱	۱۱۷۶	۹/۶۶	۰/۰۰۲۸	معنی دار
غلظت کلر (B)	۲۴۸۰/۶۷	۱	۲۴۸۰/۶۷	۲۰/۳۷	۰/۰۰۱۳	معنی دار
A * B	۷۵۶/۲۵	۱	۷۵۶/۲۵	۶/۲۱	۰/۰۴۱۵	معنی دار
A <sup>2</sup>	۶۸۸/۸۸	۱	۶۸۸/۸۸	۵/۶۶	۰/۰۴۹۰	معنی دار
B <sup>2</sup>	۶۸۸/۸۸	۱	۶۸۸/۸۸	۵/۶۶	۰/۰۴۹۰	معنی دار
باقیمانده	۸۵۲/۳۹	۷	۱۲۱/۷۷			
نقص برازش	۳۳۱/۵۹	۳	۱۱۰/۵۳	۰/۸۵	۰/۵۳۵۰	معنی دار نیست
خطای خالص	۵۲۰/۸	۴	۱۳۰/۲			
کل	۷۴۹۰/۹۲	۱۲				

جدول ۴: نتایج آنالیز واریانس عوامل مدل مرتبه دوم پاسخ سطح در غیر فعال سازی کلی فرم‌های مدفوعی در شیرابه

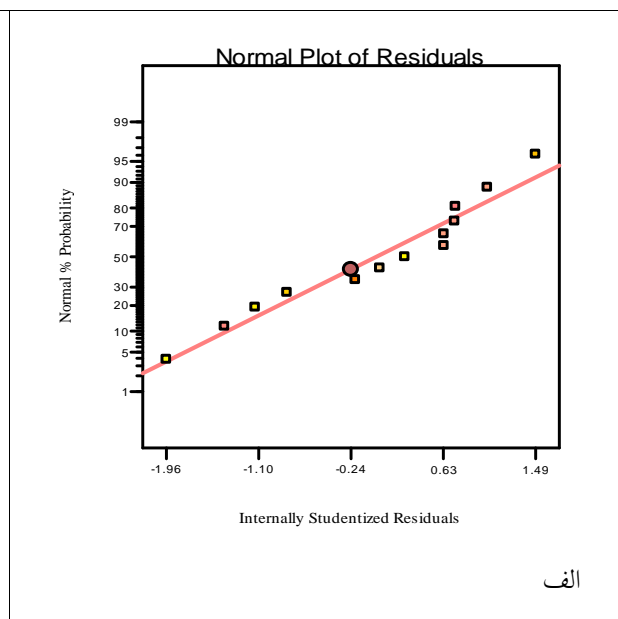
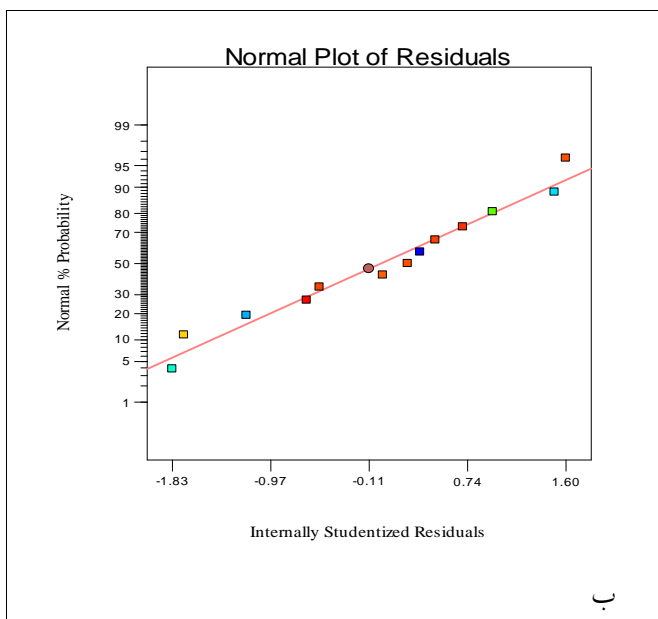
منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F-Value	p-value Prob>F	نتیجه
مدل	۶۳۲۱/۵۳	۵	۱۲۶۴/۳۱	۶۰/۵۷	<۰/۰۰۰۱	معنی دار
زمان تماس (A)	۲۲۷۷/۶۰	۱	۲۲۷۷/۶۰	۱۱۰/۲۰	<۰/۰۰۰۱	معنی دار
غلظت کلر (B)	۱۱۰۱/۶۱	۱	۱۱۰۱/۶۱	۵۲/۸۲	۰/۰۰۰۲	معنی دار
A * B	۲۴۱/۸	۱	۲۴۱/۸	۱۱/۶۰	۰/۰۱۱۳	معنی دار
A <sup>2</sup>	۱۵۵۸/۳۴	۱	۱۵۵۸/۳۴	۷۵/۱۹	<۰/۰۰۰۱	معنی دار
B <sup>2</sup>	۲۶۲/۷۴	۱	۲۶۲/۷۴	۱۲/۶۶	۰/۰۰۹۲	معنی دار
باقیمانده	۱۴۶/۱۲	۷	۲۰/۸۷			
نقص برازش	۸۱/۹۰	۳	۲۷/۳	۱/۷	۰/۳۰۳۷	معنی دار نیست
خطای خالص	۶۴/۲۲	۴	۱۶/۰۵			
کل	۶۴۶۷/۶۵	۱۲				

نتایج آنالیز واریانس عوامل مدل مرتبه دوم پاسخ سطح در غیر فعال سازی شاخص‌های میکروبی موجود در شیرابه در جداول ۳ و ۴ ارائه شده اند.

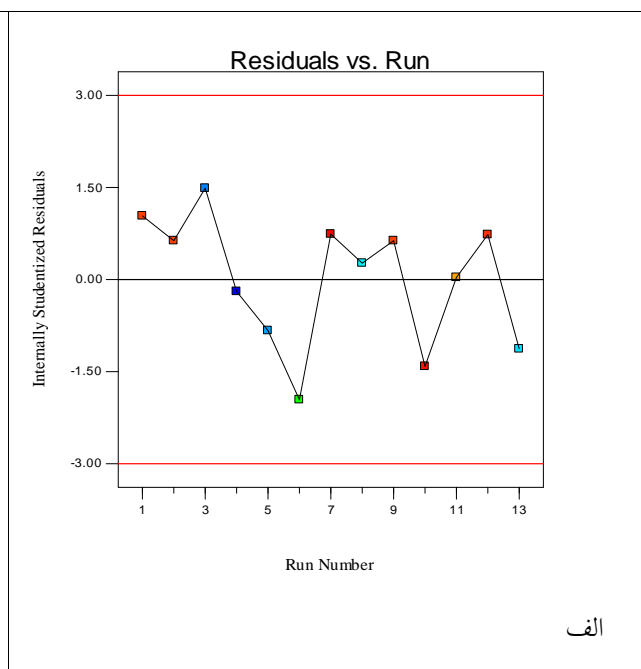
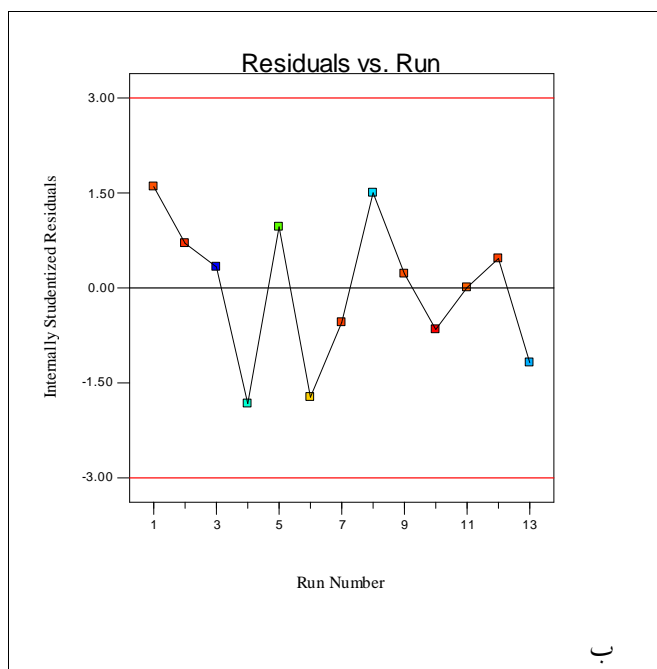
## بحث

در صورتی که باقیمانده‌ها دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ثابت بوده و همچنین باقیمانده‌ها مستقل باشند، تحلیل آزمایش‌ها و استفاده از مدل‌ها صورت می‌گیرد. یک نمودار احتمال نرمال، توزیع نرمال باقیمانده‌ها را نشان می‌دهد. بطوریکه نقاط روی یک خط مستقیم قرار می‌گیرند. اما حتی در

داده‌های نرمال نیز اندکی پراکندگی وجود دارد. نمودار (۳) نمودارهای احتمال نرمال بودن باقیمانده‌ها را نشان می‌دهد. نمودار (۳-الف) و (۳-ب) بترتیب احتمال نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها در مورد کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی را نشان می‌دهند. همانطور که در این دو نمودار مشاهده می‌گردد، باقیمانده‌ها نسبت به توزیع، اندکی انحراف دارند. با این حال می‌توان فرض نمود که این دو نمودار دارای توزیع نرمال هستند.



**نمودار ۳:** پراکنش باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر برازش داده شده در مورد غیر فعال سازی الف: کل کلی فرم‌ها و ب: کلی فرم‌های مدفوعی.



**نمودار ۴:** پراکنش باقیمانده‌ها نسبت به ترتیب انجام آزمایش‌های غیرفعال سازی الف: کل کلی فرم‌ها و ب: کلی فرم‌های مدفوعی

روندی از قبیل سینوسی بودن در این نمودار، فرض استقلال داده‌های بدست آمده پذیرفته می‌شود. در این دو نمودار (۴-الف و ۴-ب) که به ترتیب مربوط به توالی آزمایشات کل کلی

نمودار (۴) پراکنش باقیمانده‌ها نسبت به ترتیب انجام آزمایشات و جمع آوری داده‌هاست، و برای بررسی استقلال بین باقیمانده‌ها بکار می‌رود. در صورت عدم مشاهده هر گونه



فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی است، هیچگونه روندی که بتوان فرض استقلال داده‌ها را رد کرد، مشاهده نمی‌شود. بنابراین با توجه به تحلیل نمودارهای الف و ب ارائه شده در نمودارهای (۳ و ۴)، مدل انتخاب شده برای تحلیل داده‌ها مناسب است. بنابراین مدل مرتبه دوم که برای بررسی ارتباط بین داده‌های بدست آمده و متغیرهای مستقل انتخاب شده است معتبر می‌باشد.

نتایج تحلیل واریانس عوامل مدل مرتبه دوم سطح پاسخ در غیر فعال سازی شاخص‌های آلودگی باکتریایی در جدول‌های (۳ و ۴) ارائه شده‌اند. با توجه به داده‌های موجود در این جداول، نقش کلیه عوامل مدل مرتبه دوم در غیر فعال سازی کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی معنی دار است. ضریب هر یک از واژه‌های مدل نیز برای کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی در جدول (۵) ارائه شده است. بنابراین هیچ یک از این عوامل از مدل حذف نگردیدند. عواملی که در مدل دارای علامت مثبت هستند، در کاهش جمعیت شاخص‌های باکتریایی دارای اثرات مثبت بوده و عواملی که دارای علامت منفی اند دارای اثرات منفی در کاهش جمعیت شاخص‌های آلودگی باکتریایی شیرابه هستند. با توجه به داده‌های ارائه شده در جدول (۵) اثر عوامل زمان ماند و غلظت کلر و اثر واکنش‌های متقابل این دو عامل روی غیر فعال سازی مثبت است، اما اثرات توان دوم این عوامل در غیر فعال سازی شاخص‌های میکروبی منفی است. هرچه ضرایب عوامل تشکیل دهنده بزرگ تر باشد، نقش آن عوامل در غیر فعال سازی، مهم تر است. برای تحلیل گرافیکی اثرات بین متغیرهای مستقل سیستم و پاسخ، تحلیل واریانس انجام شد. آزمون ضعیف برازش (Lack of fit)، تغییرات داده‌ها را حول مدل برازش شده توصیف می‌نماید. اگر مدل بخوبی برازش نشده باشد، این آزمون معنی دار است. مقادیر بزرگ P value (بیش از ۰/۰۵) مربوط به ضعیف برازش که در جداول (۳ و ۴) ارائه شده

است، موید معنی دار نبودن آزمون ضعیف برازش بوده و بر وجود همبستگی بین متغیرهای مستقل و پاسخ‌های فرایند دلالت دارد. شاخص‌های اصلی معنی دار بودن و کفایت مدل شامل مقدار F (نسبت تغییرات فیشر)، مقدار احتمال ( $Prob > F$ ) و AP (Adequate precision) هستند.<sup>۲۴</sup>

آزمون فیشر برای بررسی معنی دار بودن برازندگی مدل چند جمله ای بکار می‌رود. در حالی که واژه‌های مدل بر پایه احتمال (P Value) با سطح اطمینان ۹۵٪ و AP تخمین زده می‌شوند.<sup>۲۵</sup> AP، مقادیر پیش بینی شده در نقاط طراحی را با متوسط خطای پیش بینی مقایسه می‌کند. مقادیر AP بیش از ۴ نشان دهنده تمایز رابطه مدل درجه ۲ از سایر معادلات است.<sup>۲۶، ۲۷</sup> مقدار AP بالاتر از ۴ در نتایج (جدول ۶) موید این است که مدل‌های پیش بینی کننده بدست آمده از طرح مرکب مرکزی را می‌توان در فضای طراحی فرایند بکار گرفت.

با توجه به جداول (۳ و ۴) اعتبار مدل مرتبه دوم تایید می‌گردد. زیرا در هر دو مدل  $Prob > F$  کمتر از ۰/۰۵ است. مقادیر احتمال هر واژه مدل، اثرات متقابل و اثرات درجه دوم نیز در جداول (۳ و ۴) ارائه شده است که در همه موارد مقادیر آنها در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار بوده‌اند. مقدار ضریب همبستگی ( $R^2$ ) بین صفر و یک تغییر می‌کند. ضریب همبستگی برابر با یک یعنی اینکه مدل برگزیده شده همه داده‌های آزمایشی را برآورد می‌کند و  $R^2$  برابر با صفر یعنی اینکه برآورد مدل کاملاً اشتباه است. برای اینکه یک مدل دارای توانایی خوبی برای برازش داده‌ها داشته باشد، لازم است که ۰/۸ و بالاتر از آن باشد.<sup>۲۵</sup> مقادیر  $R^2$  ارائه شده در جدول (۶) نیز به معنی دار بودن مدل اشاره می‌کند. زیرا در هر دو مدل، مقدار  $R^2$  بیشتر از ۰/۸ است. داده‌های دارای  $R^2$  بزرگ، تایید کننده تطابق رضایت بخش داده‌های آزمایش بر مدل درجه ۲ است.

**جدول ۵:** نتایج رگرسیون مدل سطح پاسخ برای غیر فعال سازی شاخص‌های باکتریایی در شیرابه با استفاده از کلر

واژه	ضریب	ضریب تخمین برای کل کلی	ضریب تخمین برای کلی فرم‌های
ضریب ثابت	$a_0$	فرم‌ها	مدفوعی
زمان تماس (A)	$a_1$	۱۴	۸۹/۱۷
غلظت کلر (B)	$a_2$	۲۰/۳۳	۱۹/۴۸
A * B	$a_3$	۱۳/۷۵	۱۳/۵۵
$A^2$	$a_4$	-۱۵/۷۹	۷/۷۷
$B^2$	$a_5$	-۱۵/۷۹	-۲۳/۷۵
			-۹/۷۵

با قرار دادن عوامل موثر در غیر فعال سازی شاخص‌های آلودگی باکتریایی در رابطه کلی مدل مرتبه دوم، رابطه (۲) حاصل شد. سپس برای تخمین ضرایب رگرسیون، بر روی داده‌های حاصل از انجام آزمایشات، آنالیز رگرسیون چندگانه صورت گرفت و ضرایب بدست آمده در رابطه (۱) قرار گرفت. بدین ترتیب رابطه (۲) برای غیر فعال سازی کل کلی فرم‌ها و رابطه (۳) برای غیر فعال سازی کلی فرم‌های مدفوعی بدست آمد. با توجه به اینکه کلیه واژه‌های معادلات (۲ و ۳) به لحاظ آماری ( $P \text{ Value} < 0/05$ ) معنی‌دار بودند، بنابراین هیچکدام از واژه‌ها از معادلات فوق‌الذکر حذف نگردیدند. ضرایب بدست آمده برای هر یک از مدل‌ها با P Value مربوط

به هرکدام از واژه‌ها در جدول (۵) ارائه شده‌اند.

رابطه (۲): راندمان غیر فعال سازی کل کلی فرم‌ها بر اساس ضرایب بدست آمده از مدل مرتبه دوم

$$Y = 72/66 + 14 (\text{Contact time}) + 20/33 (\text{Chlorine dose}) + 13/75 (\text{Contact time} \times \text{Chlorine dose}) - 15/79 (\text{Contact time})^2 - 15/79 (\text{Chlorine dose})^2$$

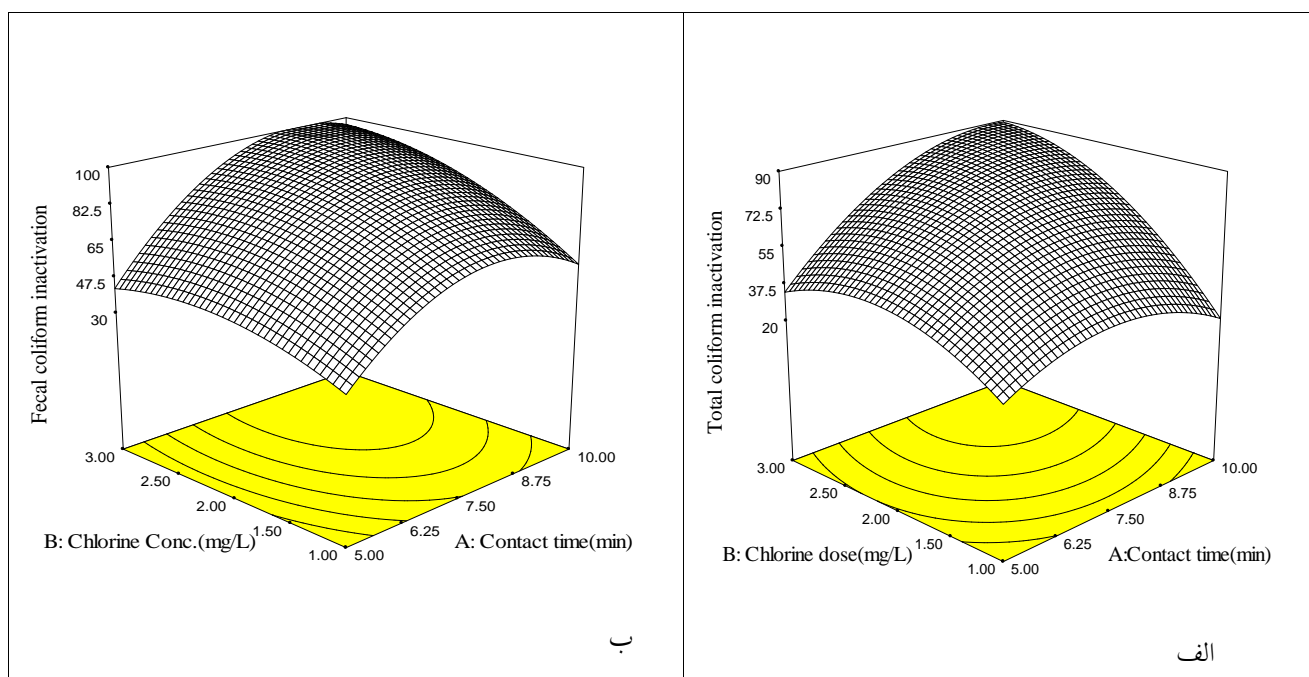
رابطه (۳): راندمان غیر فعال سازی کلی فرم‌های مدفوعی بر اساس ضرایب بدست آمده از مدل مرتبه دوم

$$Y = 89/17 + 19/48 (\text{Contact time}) + 13/55 (\text{Chlorine dose}) + 7/77 (\text{Contact time} \times \text{Chlorine dose}) - 23/75 (\text{Contact time})^2 - 9/75 (\text{Chlorine dose})^2$$

**جدول ۶:** نتایج آنالیز واریانس مدل مرتبه دوم برای غیر فعال سازی شاخص‌های باکتریایی با استفاده از کلر

نام پارامتر آماری	مقدار
میانگین	کل کلی فرم‌ها
انحراف معیار	کلی فرم‌های مدفوعی
ضریب تغییرات (%)	۷۳/۷۱
R-Squared	۵۸/۰۸
Adj R-Squared	۱۱/۰۳
Pred. R-Squared	۱۹
Adequate Precision	۰/۹۷۷۴
PRESS	۰/۸۸۶۲
	۰/۸۰۴۹
	۰/۴۴۸۱
	۲۱/۲۸۵
	۹/۱۶
	۹۱۸/۵
	۴۱۳۴

PRESS; Predicted residual error sum of squares



نمودار ۵: نمودار سه بعدی اثرات متقابل زمان تماس و غلظت کلر در غیر فعال سازی (الف) کل کلی فرمها و (ب) کلی فرمهای مدفوعی

نمودارهای سطح پاسخ سه بعدی کاملاً واضح است. هر یک از دو نمودار سطح پاسخ دارای یک نقطه اوج واضح هستند که نمایانگر اهمیت نقش متغیرهایی مثل زمان تماس و غلظت کلر در فراهم شدن شرایط برای غیر فعال سازی حداکثری شاخص‌های آلودگی باکتریایی است. با دور شدن از این نقاط اوج، کاهش راندمان غیر فعال سازی مشاهده می‌گردد، به طوری که افزایش و یا کاهش هر یک از متغیرهای مورد آزمایش مطلوب به نظر نمی‌رسد.

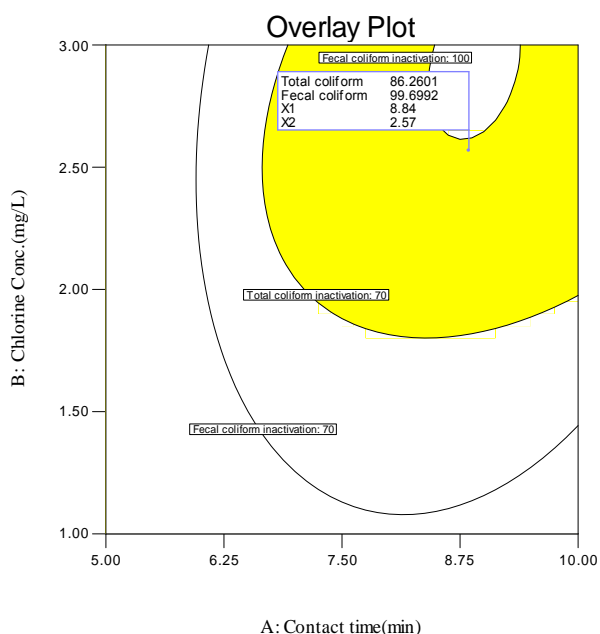
### بهینه‌سازی شرایط آزمایش

بهینه سازی شرایط گندزدایی با کلر را می‌توان با استفاده از مدل‌های گوناگونی مثل مدل چیک و واتسون که نمودار ct را در مقابل لگاریتم غیر فعال سازی باکتریایی نشان می‌دهد، انجام داد. در مدل چیک و واتسون کلر باقیمانده بایستی در فواصل زمانی مناسبی اندازه گیری و در روی نمودار، کلر باقیمانده در برابر زمان تماس نوشته شود. در این مطالعه که با بکارگیری روش سطح پاسخ انجام شد، بدون نیاز به اندازه‌گیری کلر

برای مشاهده بهتر اثر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها) نمودارهای سه بعدی سطح پاسخ برای هر گروه از شاخص‌های مورد مطالعه رسم گردید. در نمودار (۵) اثر دو متغیر مستقل بر متغیر پاسخ بررسی شده است.

نمودار ۵- الف، و ۵- ب، اثرات متقابل متغیرهای مستقل، غلظت کلر و زمان تماس در غیر فعال سازی کل کلی فرمها و کلی فرمهای مدفوعی را نشان می‌دهد.

همانگونه که در نمودار ۵- الف دیده می‌شود با افزایش غلظت کلر و زمان تماس، راندمان غیر فعال سازی کل کلی فرمها افزایش می‌یابد. حداکثر غیر فعال سازی (۹۰٪) در زمان تماس ۱۰ دقیقه و غلظت کلر ۳ mg/L اتفاق می‌افتد. همچنین با توجه به نمودار ۵- ب، کلی فرمهای غیر مدفوعی نسبت به کل کلی فرمها حساسیت بیشتری در مقابل غلظت کلر و زمان تماس از خود بروز می‌دهند، بطوریکه بیشترین راندمان غیر فعال سازی (۱۰۰٪) در زمان تماس ۹ دقیقه و غلظت کلر ۳ mg/L بدست آمد. با توجه به اینکه واکنش‌های متقابل متغیرها معنی‌دار بودند (جدول ۴ و ۳)، بنابراین انحناء، در



**نمودار ۶:** نمودار روی هم قرار گیری شرایط بهینه حذف شاخص‌های باکتریایی

این گمان که شیرابه مکان دفن عاری از عوامل بیماری‌زا است، ممکن است درمورد مکان‌های دفن معینی واقعیت داشته باشد، اما در بسیاری از جایگاه‌های دفن صحت ندارد و به وضعیت جایگاه، نوع طراحی و وضعیت بهره برداری از جایگاه بستگی دارد. نتایج نشان داد که غلظت کلر و زمان تماس نقش مهمی در غیر فعال سازی عوامل باکتریایی دارند، بطوری که در زمان تماس و غلظت کلر بترتیب برابر با  $9/39 \text{ min}$  و  $2/99 \text{ mg/L}$ ، راندمان غیر فعال سازی کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی بترتیب به  $100\%$  و  $89/16\%$  رسید. بنابراین از کلر می‌توان برای گندزدایی شیرابه استفاده نمود. با این حال در صورت وجود بار آلی بالا در شیرابه، با توجه به پتانسیل ایجاد محصولات جانبی ناشی از کلر زنی، بایستی در انتخاب کلر به عنوان گندزدا ملاحظات بهداشتی و زیست محیطی لازم مد نظر قرار گیرد. همچنین بایستی مطالعات بیشتری در مورد انواع عوامل بیماری‌زای بیولوژیکی موجود در شیرابه و میزان بقای آنها در محیط انجام شود.

باقیمانده، امکان بکارگیری این روش برای ایجاد بهینه‌سازی عوامل مؤثر در گندزدایی، مورد ارزیابی قرار گرفت. نمودار روی هم گذاری شده (Overlay plot) برای تعیین شرایط بهینه گندزدایی بکار رفت. نتایج در نمودار (۵) ارائه شده است. متغیرهای مهم در فرآیند گندزدایی از قبیل زمان تماس و غلظت کلر در غیر فعال سازی دو گروه از شاخص‌های باکتریایی شامل کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی بطور معنی داری مؤثر بودند. عملکرد روش سطح پاسخ و مطلوبیت (Desirability)، بر اساس میزان غیر فعال سازی کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی تعیین گردید. راندمان غیرفعال‌سازی باکتریایی و مقدار هر یک از دو متغیر مستقل در این ناحیه، در نمودار (۶) نشان داده شده است. مقادیر بهینه دو متغیر مستقل زمان تماس و غلظت کلر بترتیب برابر با  $9/39 \text{ min}$  و  $2/99 \text{ mg/L}$  بودند. راندمان غیر فعال سازی کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی در این شرایط، بترتیب  $89/16\%$  و  $100\%$  بود، ضمن اینکه میزان مطلوبیت در این شرایط برابر با  $99\%$  بود. برای تایید اعتبار مدل‌ها در پیش‌بینی شرایط بهینه و پایایی ناحیه بهینه بدست آمده توسط مدل‌ها، یک آزمایش اضافی در این شرایط انجام شد که میزان غیرفعال سازی کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی بترتیب  $88/2\%$  و  $99/8\%$  بود که نشان‌دهنده توافق خوب نتایج پیش بینی توسط مدل‌ها با نتایج واقعی حاصل از مطالعات آزمایشگاهی است. با مقایسه نتایج بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی و نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها مشاهده می‌گردد که روش سطح پاسخ یک ابزار مفید برای بهینه سازی متغیرهای مهم در فرآیند گندزدایی شیرابه می‌باشد.

## نتیجه گیری

شیرابه مکان دفن پسماندهای شهری به دلیل دارا بودن جمعیت قابل توجهی از عوامل باکتریایی بیماری‌زا، تهدید بزرگی برای انسان و محیط زیست محسوب می‌گردد.

## منابع

1. Aghamohammadi N, Aziz HA, Isa MH, Zinatizadeh AA. Powdered activated carbon augmented activated sludge process for treatment of semi-aerobic landfill leachate using response surface methodology. *Bioresource Technol* 2007;98(1): 3570-8.
2. Hester RE, Harrison RM. *Electronic Waste Management*: Royal Society of Chemistry; 2009.
3. Wang, Z.P., Zhang, Z., Lin, Y.J., Deng, N.S., Tao, T., Zhuo, K. Landfill leachate treatment by a coagulation-photooxidation process. *J Hazard Mater* 2002;95(9): 153-9.
4. Tizaoui C, Bouselmi L, Mansouri L, Ghrabi A. Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems. *J Hazard Mater* 2007;140(7): 316-24.
5. Mehmood AK, Adetutu E, Nedwell BD, Ball AS. In situ microbial treatment of landfill leachate using aerated lagoons. *Bioresource Technol* 2009;100(3): 2741-4
6. Guo J-S, Abbas AA, Chen Y-P, Liu Z-P, Fang F, Chen P. Treatment of landfill leachate using a combined stripping, Fenton, SBR, and coagulation process. *J Hazard Mater* 2010;178(1): 699-705.
7. Adeyeba OA, Akinbo JA. Pathogenic intestinal parasites and bacterial agents in solid wastes. *E Afr Med J* 2002;79(7): 604-10.
8. San Sebastian Martinez N, Figuls Fernandez J, Font Segura X, Sanchez Ferrer, A. Pre-oxidation of an extremely polluted industrial wastewater by the Fenton's reagent. *J Hazard Mater* 2003;101(6): 315-22.
9. Deng Y, Englehardt JD. Treatment of landfill leachate by the Fenton process. *Water Res* 2006;40(1): 3683-94.
10. Zhang H, Choi HJ, Huang CP. Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leachate. *J Hazard Mater* 2005;125(4): 166-74.
11. Li HS, Zhou SQ, Sun YB, Feng P, Li JD. Advanced treatment of landfill leachate by a new combination process in a full-scale plant. *J Hazard Mater* 2009;172(9): 408-15.
12. Yoon J, Kim Y, Huh J, Lee Y, Lee D. Roles of oxidation and coagulation in Fenton process for the removal of organics in landfill leachate. *J Ind Eng Chem* 2002;8(3): 410-8.
13. Zhang L, Li AM, Lu YF, Yan L, Zhong S, Deng CL. Characterization and removal of dissolved organic matter (DOM) from landfill leachate rejected by nanofiltration. *Waste Manage* 2009; 29(11): 1035-40.
14. Calace N, Liberatori A, Petronio BM, Pietroletti M. Characteristics of different molecular weight fractions of organic matter in landfill leachate and their role in soil sorption of heavy metals. *Environ Pollut* 2001;113(1): 331-9.
15. He PJ, Xue JF, Shao LM, Li GJ, Lee DJ. Dissolved organic matter (DOM) in recycled leachate of bioreactor landfill. *Water Res* 2006;40(6): 1465-73.
16. Kang KH, Shin HS, Park H. Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications. *Water Res* 2002;36(5): 4023-32.
17. Zhang H, Choi HJ, Canazo P, Huang CP. Multivariate approach to the Fenton process for the treatment of landfill leachate. *J Hazard Mater* 2009;161(9): 1306-12.
18. Yang X, Shang C, Huang J. DBP formation in break point chlorination of wastewater. *Water Res* 2005;39(8): 4755-67.
19. Krbaiti BK. Response surface optimization of electrochemical treatment of textile dye wastewater. *J Hazard Mater* 2007;145(2): 277-86.
20. APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21<sup>st</sup> ed., American Public Health Association, Washington D.C., 2005.
21. Mason RL, Gunst RF, Hess JL. *Statistical design and analysis of experiments, eighth applications to engineering and science*. 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, New York, 2003.
22. Mohajeri L, Aziz,HA, Isa MH, Zahed MA. A statistical experiment design approach for optimizing biodegradation of weathered crude oil in coastal sediments. *Bioresource Technol* 2010;101(10): 893-900.
23. Ray S, Lalman JA, Biswas N. Using the Box-Benken technique to statistically model phenol photocatalytic degradation by titanium dioxide nanoparticles. *Chem Eng J* 2009;150(1): 15-24.
24. Arslan-Alaton I, Tureli G, Olmez-Hanci T. Treatment of azo dye production wastewaters using Photo-Fenton-like advanced oxidation processes: optimization by response surface methodology. *Photochem Photobio Chem A* 2009;202(7): 142-53.
25. Ghafari S, Aziz HA, Isa MH, Zinatizadeh AK. Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation-flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. *J Hazard Mater* 2009;163(6): 650-6.
26. Mason RL, Gunst RF, Hess JL. *Statistical Design and Analysis of Experiments, Eighth Applications to Engineering and Science*, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, New York, 2003.
27. Beg Q, Sahai V, Gupta R. Statistical media optimization and alkaline protease production from *Bacillus mojavensis* in a bioreactor. *Process Biochem* 2003;39(4): 203-9.

# Optimization of Chlorination Process for Mature Leachate Disinfection Using Response Surface Methodology

Hamzeh Ali Jamali<sup>1</sup>, Kavoods Dindarloo<sup>2</sup>, Mehrdad Farrokhi<sup>3\*</sup>

1. Department of Environmental Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

2. Department of Environmental Health, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran

3. Department of Environmental Health, Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran

E-mail: [mfarokhikhb@yahoo.com](mailto:mfarokhikhb@yahoo.com)

Received: 23 Nov 2013 ; Accepted: 12 Apr 2014

## ABSTRACT

**Background:** leachate from landfill contains high level of microbial pathogens which is considered as one of the most important threats for the environment. One of the common and simple methods for water and wastewater disinfection is chlorination, but it rarely has been used for leachate disinfection. The objective of this study was evaluating the efficiency of chlorine for leachate disinfection and optimization of the effect of concentration and contact time on the death of total and fecal coliforms, as a microbial contamination index.

**Methods:** In this descriptive-analysis study, microbial indices monitoring in leachates initiated from landfill of Qazvin city were conducted for one year. After pre-tests, the range of chlorine concentration and contact time on the inactivation of microbial indices were determined. Central composite design (CCD) and response surface methodology (RSM) were applied to optimize chlorine concentration and contact time parameters effect on microbial inactivation. 13 runs of tests were performed on samples. Tests were included BOD, COD, total and fecal coliforms. All analytical experiments were according to the standard methods for the examination of water and wastewater.

**Results:** Results of the study showed that microbial indices had relatively high sensitivity to inactivation by chlorination, which in the chlorine concentration of 2 mg/L and contact time of 9 min, and chlorine concentration of 0.5 mg/L and contact time of 12 min, 100% of total and fecal coliforms inactivated, respectively. The RSM method was used for analysis of bacterial inactivation. Analyses showed that in contact time of 9.4 min and chlorine concentration of 2.99 mg/L, the inactivation efficiency of total and fecal coliforms were 89.16% and 100%, respectively.

**Conclusions:** Chlorine could be used for leachate disinfection. However, in high concentrations of organic matter in leachates, due to production potential of chlorination by-products, health and environmental consideration must be considered in choosing chlorine as a disinfectant.

**Key words:** Leachate, Disinfection, Chlorination, Response Surface Methodology, Modeling.