

## تصفیه فاضلاب‌های آلوده به سولفورمستارد در راکتورهای بیولوژیکی

قادر غنی‌زاده M.Sc.

آدرس مکاتبه: دانشگاه علوم پزشکی بقیه ا... «ع» - دانشکده بهداشت - گروه بهداشت محیط - تهران - ایران

### خلاصه

توسعه صنایع مختلف و به دنبال آن افزایش زایدات حاصله از فعالیت این صنایع باعث افزایش خسارت زیست محیطی و نهایتاً افزایش مشکلات بهداشت عمومی شده است. متأسفانه به دلیل طولانی بودن زمان تظاهر اثرات زیست محیطی چنین آلاینده‌هایی، شدت و دامنه اثرات این آلاینده‌ها تحت تأثیر قرار گرفته و در اکثر مواقع باعث بی‌توجهی به تأثیرات آن شده است. در این میان عوامل جنگ شیمیایی نظیر ترکیبات آرسنیک (لوپزیت)، ترکیبات سیانوری و سولفورمستارد که تأثیر آن در طول هشت سال دفاع مقدس بر همه مشخص شده است، می‌توانند در مراحل مختلف تولید و استفاده، باعث آلودگی شدید در محیط مخصوصاً در منابع آب (شرب و غیرشرب) شده و به دلیل خصوصیات شیمیایی و عدم تصفیه‌پذیری با فرآیندهای ساده باعث پیدایش مشکلات شدید زیست محیطی مخصوصاً آلودگی آب‌ها شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که به دلیل استفاده‌های وسیع ترکیبات آرسنیک و سیانوری در صنایع مختلف روش‌های متفاوتی جهت حذف این آلاینده‌ها از فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته است ولی به دلیل این که ترکیبات سولفورمستارد صرفاً یک عامل جنگ شیمیایی است تصفیه فاضلاب‌های آلوده به این ترکیبات یا مورد مطالعه قرار نگرفته و یا نتایج حاصله از مطالعات آنها منتشر نشده است. در این مقاله ضمن بررسی بعضی از اثرات سولفورمستارد، خصوصیات فیزیکی شیمیایی و روش تصفیه فاضلاب‌های آلوده به سولفورمستارد به تفصیل بحث خواهد شد.

**واژه‌های کلیدی:** سولفورمستارد، عوامل جنگ شیمیایی و راکتورهای بیولوژیکی

### مقدمه

فرآیندهای متداول تصفیه حذف می‌شوند [۱]. هر چند در بررسی آلاینده‌های فاضلاب‌های صنعتی فلزات سنگین در رأس آلاینده‌های این فاضلاب‌ها ذکر می‌شود ولی بررسی‌ها نشان داده است که بعضی از آلاینده‌های شیمیایی دیگر نظیر عوامل جنگ شیمیایی نظیر سولفورمستارد، عوامل آرسنیک و عوامل سیانور که به وسیله زایدات صنایع نظامی و یا در نتیجه کاربرد عوامل جنگ شیمیایی وارد محیط می‌شوند تأثیرات شدیدتر و وسیع‌تری دارند. بررسی آمار تلفات حاصله از کاربرد عوامل شیمیایی نشان می‌دهد

بررسی ترکیبات فاضلاب‌های شهری و صنعتی نشان می‌دهد که با توجه به منشا تولید، هر دو نوع فاضلاب شهری و صنعتی دارای انواع مختلفی از آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی هستند که بر بهداشت عمومی و سلامت موجودات زنده تأثیرات متفاوتی دارند. مسایل و مشکلات زیست محیطی امروزه عمدتاً به آلاینده‌های حاصله از عدم تصفیه کافی فاضلاب‌های صنعتی مرتبط است. زیرا، آلاینده‌های موجود در فاضلاب‌های شهری عمدتاً به وسیله

نتایج مطالعات آن منتشر نشده است. به دلیل این که آلاینده‌های شیمیایی مختلف دارای خصوصیات شیمیایی نظیر میزان حالیت، خصوصیات هیدروفیلیک و هیدروفوبیک متفاوت هستند و عوامل مختلف نظیر سرعت افقی آب، ضرایب پخش هیدرودینامیکی، نفوذ ملکولی و فاکتور تأخیر آلاینده در آبخوان در انتشار آلاینده دخالت دارند، لازم است از تخلیه سموم و پساب‌های آلوده به سموم مختلف در محیط جلوگیری شود [۵].

از جمله جوانب بسیار مهم که می‌تواند در نتیجه کاربرد عوامل شیمیایی زندگی نسل حاضر و نسل‌های بعدی را تحت تأثیر قرار دهد، آلودگی زیست محیطی حادث شده به وسیله آلاینده‌های مختلف می‌باشد. سولفورمستارد نیز از این عوامل مستثنی نبوده و بایستی آلودگی‌های حاصل از آن در آب، غذا و خاک مورد بررسی قرار بگیرد.

یکی از عوامل مهمی که باعث ورود آلاینده‌های حاصل از سولفورمستارد در محیط می‌شوند، فاضلاب‌های حاصله از مراکز تولید، مراکز تحقیقاتی و آزمایشگاهی است که بر روی این عوامل تحقیق می‌کنند. هر چند که آلاینده‌های حاصله از این مراکز کم است ولی به دلیل دامنه اثرات و شدت اثرات این آلاینده‌ها بایستی این جنبه از کاربرد عوامل شیمیایی من جمله سولفورمستارد مورد توجه خاص قرار بگیرد. در این میان مهندسی بهداشت محیط شاخه‌ای از علوم است که با تلفیق علوم پایه و علوم پزشکی اثرات انواع عوامل مختلف محیطی را بر روی انسان، حیوان، گیاه و اشیاء مورد بررسی قرار داده و روش‌های فنی و اقتصادی مناسبی را متناسب با شرایط محلی و اقتصادی جهت حذف این آلاینده‌ها ارائه می‌دهد [۶].

از آنجایی که حذف مناسب هر آلاینده از محیط نیازمند آگاهی کامل از خصوصیات آن آلاینده است. در این قسمت برخی از خصوصیات سولفورمستارد، کاربردهای راکتورهای بیولوژیکی و استفاده از این راکتورها در تصفیه فاضلاب‌های آلوده به سولفورمستارد مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

که عوامل تاول‌زا نظیر سولفورمستارد یکی از مهمترین عوامل به‌کار رفته در جنگ تحمیلی عراق علیه ایران بوده که اثرات مختلف و شدید این عامل بر روی اندام‌های مختلف، نظیر چشم، دستگاه گوارش و دستگاه تنفس مشخص شده است [۲]. متأسفانه علیرغم پتانسیل بالای تأثیرات سوء، این ماده شیمیایی بررسی جامع در رابطه با روش‌های حذف سولفورمستارد از محیط صورت نگرفته و بررسی‌های انجام شده در رابطه با عوامل آرسنیک و سیانور در چارچوب برنامه‌های صنایع غیرنظامی نظیر فولادسازی، تولید آلیاژهای فلزی و چرم‌سازی صورت گرفته است.

در سال ۱۹۶۵ هاو (How) معایب و مزایای تجزیه بیولوژیکی فاضلاب‌های سیانوری را بررسی کرد و دریافت که حضور یون‌های فلزات سنگین در فاضلاب ممکن است در تصفیه بیولوژیکی این آلاینده‌ها دخالت کند. در سال ۱۹۷۲ فری و همکارانش تجزیه سیانور را به وسیله یک آنزیم که در اثر تماس باکتری استمفیلیوم لوتی (*Stemphylium loti*) با سیانور به دست آمده بود، بررسی کردند. در سال ۱۹۸۲ گائودی (Gaody) و همکارانش تصفیه فاضلاب‌های حاوی سیانور را در یک سیستم هوادهی گسترده مورد بررسی قرار دادند. در همین سال هاریس و همکارانش به جداسازی و رشد گونه‌های پسودومونایی که قادرند سیانور را به‌عنوان منبع نیتروژن مصرف کنند، گزارش نمودند. در سال ۱۹۹۸ وایت و همکارانش تصفیه فاضلاب‌های سیانوری را در راکتور ناپیوسته بیوفیلیم (SBBR) بررسی کردند [۳]. چنین مطالعات منظمی در رابطه با ترکیبات آرسنیک که در ساخت عامل جنگ شیمیایی لوپزیت کاربرد دارد صورت گرفته است. تولید جهانی این ترکیب در سال ۱۹۹۰ حدوداً ۶۱۰۰۰ تن بوده است که ۵۵٪ آن برای محافظت چوب، ۳۵٪ کشاورزی، ۵٪ شیشه‌سازی، ۳٪ در صنعت الکترونیک و ۲٪ در مصارف دیگر کاربرد دارد. روش‌های مختلفی جهت حذف این آلاینده از آب و فاضلاب مورد تأیید قرار گرفته است که شامل انعقاد فیلتراسیون، خنثی‌سازی با آهک، آلومینای فعال، تبادل یون و اسمز معکوس است [۴]. این مطالعات نشان می‌دهد که ترکیبات آرسنیک و سیانوری به‌طور مرتب مورد مطالعه قرار گرفته‌اند ولی روش‌های تصفیه و حذف عامل جنگ شیمیایی سولفورمستارد مورد مطالعه قرار نگرفته و یا

سیستم‌های بیولوژیکی و نکات اصولی آن در تصفیه فاضلاب‌ها به قبل از سال‌های ۱۹۱۴ می‌رسد [۸، ۱]. در این سال‌ها محققین اعلام کردند که میکروارگانیسم‌های تطابق یافته با محیط فاضلاب کارآیی فرآیند تصفیه را افزایش می‌دهد. بنابراین ایده استفاده از فرآیند لجن فعال در راکتورهای بیولوژیکی در میان محققین مورد بحث قرار گرفت [۹، ۱۰]. راکتورهای بیولوژیکی مورد استفاده در این کار که در واقع حاوی ترکیبی هتروژن از میکروارگانیسم‌ها، مواد کلئیدی و پلیمرهای آلی است، به‌عنوان یک ابزار جهت تصفیه انواع مختلف فاضلاب‌ها مورد استفاده قرار گرفت [۲۲]. از میان راکتورهای بیولوژیکی مورد استفاده در تصفیه فاضلاب، راکتورهای ناپیوسته متوالی (Sequencing Batch Reactors) سابقه بسیار طولانی دارد به طوری که استفاده از این سیستم‌ها به قبل از سال‌های ۱۹۱۴ بر می‌گردد [۱۰، ۱۱]. اساس کار این راکتورها در تصفیه فاضلاب‌ها به‌صورت پر و خالی شدن متوالی است که شامل پنج مرحله می‌باشد:

۱- مرحله پر شدن (فاضلاب وارد راکتور می‌شود)

۲- مرحله واکنش (انجام واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی داخل راکتور)

۳- مرحله ته‌نشینی (فلاک‌های تشکیل شده در مرحله قبل ته‌نشین می‌شوند)

۴- مرحله تخلیه (پساب تصفیه شده تخلیه می‌شود)

۵- مرحله استراحت (مدت زمان بین تخلیه و پر شدن مجدد راکتور) [۱۲].. به دلیل شرایط حاکم بر محیط این راکتورها و تغییر آسان در شرایط حاکم بر محیط با سیستم‌های کنترلی، استفاده از این راکتورها با توسعه سیستم‌های کنترل‌گر الکترونیکی روز به روز توسعه یافته و برای تصفیه انواع فاضلاب‌های صنعتی و حاوی عوامل بازدارنده و یا کندکننده فعالیت‌های بیولوژیکی نیز استفاده می‌شود. از جمله فاضلاب‌هایی که تصفیه آنها بسیار مشکل بوده و نیازمند کنترل شرایط حاکم بر محیط راکتورهای مورد استفاده است. فاضلاب‌های صنایع شیمیایی نظیر فاضلاب حاوی عوامل بازدارنده تصفیه بیولوژیکی (مس، کادمیم، تری کلروفلن) و یا فاضلاب حاصله از مراکز تحقیقاتی عوامل شیمیایی است. بررسی روش‌های تصفیه چنین فاضلاب‌هایی نشان می‌دهد که راکتورهای

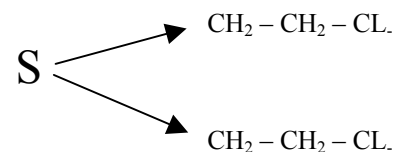
## خصوصیات فیزیکی و شیمیایی موستارد (خردل)

گیاه خردل که نام لاتین آن سیناپیس (Sinapis) است از تیره خورجین دارها، شب بویا یا چلیپائیان است. بقراط از دانه آن به‌عنوان دارو استفاده نموده و از کشت بذرهاى آن در تابستان به عنوان سبزی استفاده می‌کرده‌اند. از آسیاب کردن دانه‌های آن تحت تأثیر آنزیم میروزین بر روی گلوکزیدسیناگرین ماده‌ای تولید می‌شود که به‌طور طبیعی در دانه وجود ندارد. ولی خاصیت تاول‌زایی دارد. دو نوع خردل وجود دارد:

۱- نوع گوگردی یا سولفورموستارد (HD)

۲- نوع نیتروژنی یا از ته (HN)

سنتز نوع گوگردی آن از ترکیب تیودی گلیکول با گاز اسیدکلریدریک و یا از ترکیب اتیلن با منوکلروگوگرد به‌دست می‌آید که دارای ساختمان زیر است:



این ترکیب مایع روغنی شفاف و بی رنگ تا کهربائی، با واکنش خنثی می‌باشد که از لحاظ فیزیکی و شیمیایی یک ماده تقریباً پایدار با نقطه جوش  $217-215^\circ\text{C}$ ، نقطه انجماد  $14^\circ\text{C}$ ، وزن مخصوص  $1.27 \text{ gr/ml}$  و وزن ملکولی  $159/08$  است. از نظر شیمیایی به آهستگی در آب هیدرولیز شده (در ۲ ساعت اول ۲۲٪، در ۶ ساعت اول ۳۵٪ و ۲۴ ساعت ۶۰٪ غلظت اولیه) و اسیدکلریدریک و تیودی گلیکول ایجاد می‌کند. این ماده در حلال‌های آلی به شدت به سولفوکسید تبدیل می‌شود. که ماده‌ای با سمیت کمتر است. در آب‌های جاری به‌علت تغییرات مداوم سطوح تماس فقط برای چند روز دوام می‌آورد اما در آب راکد چندین ماه دوام می‌آورد. در اثر اکسیدشدن با پرمنگات اثر آن خنثی می‌شود [۲، ۷].

## راکتورهای بیولوژیکی و تصفیه فاضلاب

بررسی تاریخچه تصفیه فاضلاب نشان می‌دهد که استفاده از

بیولوژیکی ناپیوسته متوالی به‌عنوان یک روش کارآمد جهت تصفیه چنین فاضلاب‌هایی کاربرد دارند [۱۳].

آکادمی ملی دفاعی آمریکا از سال ۱۹۹۳ توانایی روش‌های مختلف را برای دفع نهایی عوامل جنگ شیمیایی مورد ارزیابی قرار داده است. به‌دنبال این ارزیابی انجمن ملی پژوهش آمریکا در سال ۱۹۹۴ پیشنهاد کرده است که پژوهش و بررسی بر روی استفاده از تکنولوژی‌های زیر به منظور تصفیه و دفع فاضلاب‌های آلوده به عوامل جنگ شیمیایی صورت بگیرد. این تکنولوژی‌ها شامل موارد زیر است:

- ۱- خنثی‌سازی و به‌دنبال آن سوزاندن در محل یا خارج از محل
  - ۲- خنثی‌سازی و به‌دنبال آن اکسیداسیون با هوای مرطوب که به‌وسیله تصفیه بیولوژیکی دنبال می‌شود
  - ۳- خنثی‌سازی و به‌دنبال آن اکسیداسیون با بخار آب فوق اشباع
  - ۴- خنثی‌سازی و به‌دنبال آن تصفیه بیولوژیکی
- در سال ۱۹۹۴ کنگره ایالت متحده مطالعات خود را بر روی گزینه چهارم به منظور تصفیه فاضلاب‌های حاوی سولفورمستارد متمرکز کرده است که مدیریت این پروژه برعهده مدیر برنامه‌ریزی ارتش آمریکا بود. به‌منظور بررسی پتانسیل این تکنولوژی مطالعات آزمایشگاهی در مقیاس پایلوت از اکتبر ۱۹۹۴ تا دسامبر ۱۹۹۵ انجام شد. هدف این مطالعه امکان‌سنجی آزمایشگاهی و ارزیابی تجزیه بیولوژیکی سولفورمستارد خنثی شده در راکتور ناپیوسته متوالی بود. برای این کار ۱۲ راکتور ناپیوسته متوالی با حجم‌های ۱، ۲/۵، ۵ و ۱۲ لیتری مورد استفاده قرار گرفت که در هر کدام از این راکتورها دو نوع سولفورمستارد (سولفورمستاردهیدرولیز شده در آب و سولفورمستارد هیدرولیزه شده در سود) مورد استفاده قرار گرفت. هر کدام از این راکتورهای مورد استفاده مجهز به همزن با سرعت قابل تغییر، اکسیژن‌سنج، PH متر، دماسنج و شیرهای نمونه‌برداری بود. به استثناء سنجش PH اکثر عملیات کنترلی راکتورها به‌صورت دستی انجام می‌شد. برای انجام آزمایش‌های لازم بر روی سولفورمستارد هیدرولیز شده با سود درجه حرارت راکتور در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد نگهداری شد ولی در مورد سولفورمستارد هیدرولیز شده در آب دمای راکتور کنترل نشده و اجازه داده می‌شد تا دمای آن در محدوده دمای اتاق تغییر کند. در

این راکتورها تأثیر پارامترهای مختلف فرآیند از قبیل باردهی آلی، شرایط پرشدن و درجه حرارت بر روی عملکرد راکتورها مورد ارزیابی قرار گرفت. هیدرولیز اسیدی سولفورمستارد یک محصول قابل تجزیه بیولوژیکی و غیرسمی تولید می‌کند که ۹۵ - ۸۰٪ تیودی گلیکول (TDG) دارد. محصول هیدرولیز شده در مرحله بعدی به‌وسیله ۱۴۵۰ mg/l آمونیوم کلراید (NH<sub>4</sub>Cl)، ۲۸۰ میلی‌گرم در لیتر فسفات‌پتاسیم مونوبازیک (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) و نمک‌های معدنی اصلاح شد. سپس به‌عنوان فاضلاب مورد تصفیه وارد راکتور ناپیوسته متوالی گردید. سیکل کاری راکتورهای مورد استفاده ۲۴ - ۲۱ ساعت طول می‌کشید و شامل مرحله پرشدن هوازی، مرحله واکنش، مرحله ته‌نشینی و تخلیه بود. راکتورهای ناپیوسته متوالی ترکیبات آلی موجود در محصولات هیدرولیز را به CO<sub>2</sub>، آب، اسیدهای معدنی و توده‌های بیولوژیکی تبدیل می‌کرد. به‌دلیل تولید اسیدهای معدنی و به‌منظور جلوگیری از کاهش pH و اختلال در فرآیندهای بیولوژیکی کنترل pH در محدوده ۵/۸-۸/۵ با استفاده از سود ۱ - ۷۵٪ نرمال تنظیم شده است. جهت حفظ شرایط مناسب تغذیه و نسبت F/M، توده‌های بیولوژیکی به هم چسبیده یا فلاک‌های بیولوژیکی مازاد که حاصل تجزیه بیولوژیکی عوامل آلاینده فاضلاب و فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در راکتور است در انتهای مرحله واکنش و قبل از مرحله ته‌نشینی از راکتور دفع شده‌اند. در مرحله ته‌نشینی به‌منظور بهبود راندمان جداسازی فلاک‌ها از پساب، هوادهی و اختلاط قطع شده و بعد از مرحله ته‌نشینی پساب زلال‌شده در طول مرحله تخلیه جمع‌آوری و آنالیز شده است. در مورد بهره‌برداری راکتورها، عملکرد راکتور ناپیوسته متوالی در رابطه با کل کربن آلی (TOC)، راندمان حذف COD، حداکثر بار قابل قبول و غلظت جامدات معلق به‌عنوان تابعی از زمان ماند هیدرولیکی (HRT) و زمان ماند سلول (SRT) و غلظت جامدات معلق مایع مخلوط (MLSS) بوده است. بررسی نتایج حاصله از تأثیر فرآیندهای بیولوژیکی و شرایط حاکم بر راکتور نشان داد که غلظت آلاینده‌های ورودی، خروجی و زمان‌های ماند سلولی و هیدرولیکی مطابق جدول زیر بوده است.

پارامتر	Inf.Toc (mg/l)	TDG* Inf. (mg/l)	Mlss (mg/l)	HRT (day)	SRT (day)	Eff.Toc (mg/l)	Eff.SS (mg/l)	Eff.TD G (mg/l)	TOC Removal (%)
مقدار	۳۹۳۰	۷۸۸۰	۵۰۳۲	۱۰	۱۵	۲۹۰	۴۰-۹۰	۳۵	۹۲

می‌توان به شرایط محیطی حاکم بر این راکتورها و نحوه کنترل و بهره‌برداری آنها نسبت داد [۱۲، ۱۳].

### نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت به دلیل این که ترکیبات آرسنیک و سیانوری علاوه بر صنایع نظامی در صنایع دیگر نیز کاربرد دارند. لذا، مطالعات مربوط به این ترکیبات که دارای کاربری نظامی نیز هستند، در چارچوب صنایع دیگر به طور منظم مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین از نتایج چنین مطالعاتی می‌توان جهت حذف آلاینده‌های آرسنیک و سیانوری استفاده کرد. روش‌های مختلفی نظیر انواع فرآیندهای بیولوژیکی، سیستم لجن فعال دو مرحله‌ای، راکتور ناپیوسته بیوفیلم (SBBR) را می‌توان جهت تصفیه فاضلاب‌های حاوی ترکیبات سیانوری و روش‌هایی نظیر تبادل یون، اسمز معکوس، آلومینای فعال، خنثی‌سازی با آهک و انعقاد - فیلتراسیون را برای حذف ترکیبات آرسنیک می‌توان به کار برد. اما به دلیل این که سولفورموستارد صرفاً یک عامل جنگ شیمیایی است. لذا، روش‌های تصفیه فاضلاب‌های آلوده به این ترکیبات یا مورد مطالعه قرار نگرفته و یا نتایج آنها به‌طور کامل منتشر نشده است. تنها مطالعه انجام شده در این رابطه در امریکا و با استفاده از راکتورهای ناپیوسته متوالی انجام شده است. در این مطالعه نشان داده شد که این آلاینده بعد از هیدرولیز به صورت (TDG) در می‌آید. همان طوری که در جدول مشاهده می‌شود، غلظت بالای TDG و TOC نشان‌دهنده آلودگی بسیار زیاد و یا قوی بودن این فاضلاب است. علاوه بر این غلظت زیاد جامدات معلق مایع مخلوط، زمان ماند هیدرولیکی بالا و زمان ماند سلولی بالا نشان می‌دهند که این فاضلاب‌ها جز فاضلاب‌های ناسازگار با محیط تصفیه بوده و تصفیه آنها به سختی امکان‌پذیر است. لذا، با توجه به این خصوصیات، چنین

### تیودی گلیکول

بررسی نتایج حاصله از مطالعات انجام شده بر روی تصفیه فاضلاب‌های آلوده به سولفورموستارد نشان می‌دهد که تصفیه بیولوژیکی و کاربرد راکتورهای ناپیوسته متوالی یک روش مؤثر و مناسب برای کاهش سمیت و حذف TOC این فاضلاب‌ها می‌باشد به طوری که ۹۲٪ از غلظت عوامل کربنه آلی موجود در فاضلاب که یک شاخص از میزان آلودگی فاضلاب است. در این راکتور حذف شده است. همچنین ۹۹/۶٪ از تیودی گلیکول که محصول هیدرولیز سولفورموستارد در آب است، در این راکتورها حذف شده که نشان دهنده پتانسیل خوب این سیستم در تصفیه این فاضلاب‌ها می‌باشد. این راندمان حذف TOC برای سولفورموستارد هیدرولیز شده در باردهی‌های ۱/۲۷ و ۳/۸۱ درصد وزنی حاصل شده است [۱۴]. بررسی‌های دیگری که بر روی تصفیه فاضلاب‌های شهری در راکتورهای ناپیوسته متوالی صورت گرفته نشان می‌دهد که این راکتورها در بارهای آلی بالا بیشترین راندمان را در حذف مواد نیتروژنه دارا هستند [۱۵، ۱۶، ۱۷]. در سال‌های اخیر به دلیل استفاده زیاد از این سیستم‌ها و توسعه نرم افزارهای کامپیوتری مدل‌سازی‌های مختلفی بر روی این سیستم‌ها انجام شده که از جمله، مدل‌های ارایه شده می‌توان به مدل اورهن (Orhon) و همکاران [۱۸]، مدل Ng و همکاران [۱۹] و مدل‌های ارایه‌شده توسط ایروین و همکاران اشاره کرد [۲۰، ۲۱]. از آنجایی که فرآیندهای مختلف صنعتی به همراه آزمایشگاه‌های پژوهشی یکی از مراکز مهم تولیدکننده فاضلاب‌های دارای عوامل بازدارنده تصفیه بیولوژیکی هستند. توجه به این سیستم‌ها (راکتورهای ناپیوسته متوالی) یکی از روش‌های مناسبی است که برای تصفیه چنین فاضلاب‌هایی می‌تواند پاسخ‌گو باشد. هرچند که خود این سیستم‌ها نیز به وسیله عوامل بیولوژیکی کار می‌کند، عامل توانایی این سیستم‌ها را در تصفیه چنین فاضلاب‌هایی

قوی و حاوی عوامل بازدارنده تصفیه بیولوژیکی نظیر فاضلاب‌های حاوی سولفورموستارد استفاده می‌شود. بنابراین در این رابطه لازم است، روش‌های پیشنهادی انجمن ملی پژوهش آمریکا نظیر خنثی‌سازی و اکسیداسیون با هوای مرطوب، خنثی‌سازی و اکسیداسیون با بخار آب فوق اشباع و خنثی‌سازی و تصفیه بیولوژیکی نظیر فیلترهای بی‌هوازی، راکتورهای حاوی بستر لجن و جریان رو به بالا و راکتورهای ناپیوسته متوالی به‌طور دقیق و با مطالعات پایلوتی جهت استفاده مورد بررسی قرار بگیرند.

### منابع

- 1- Metcalf and Eddy(2003). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, Mc Graw- Hill. Inc, P: 190 - 193.
- 2- Bijani Kh, Moghadamnia AA(2002). Long-term effects of Chemical weapons on respiratory tract in Iran-Iraq war, Ecotoxic Environ Saf; 53(3): 422 - 4.
- ۳- نوایی قمصری سیدرضا، حقیقی محمدرضا، تجریشی مسعود، امتیازی گیتی (۱۳۸۰). بررسی اثر سیانور بر روی ضرایب بیوسنتتیک. چهارمین همایش کشوری بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی یزد، صفحات: ۸۴۲ - ۸۵۷.
- ۴- قربانی منصور(۱۳۷۴). زمین‌شناسی ایران: آنتیموان، آرسنیک، جیوه. سازمان زمین‌شناسی کشور، صفحات: ۶۳ - ۵۷.
- ۵- زینتی‌زاده علی‌اکبر، یآوری فریدون، صمدزاده محمدرضا (۱۳۸۲). بررسی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی شهر کرمانشاه و چگونگی... ششمین همایش کشوری بهداشت محیط، صفحات: ۴۰۶ - ۴۱۶.
- ۶- غنی‌زاده قادر(۱۳۸۰). بررسی تأثیر درجه حرارت و PH بر ته‌نشینی فلاک‌های فرآیند لجن فعال. چهارمین همایش کشوری بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی یزد، صفحات: ۸۲۶ - ۸۱۸.
- 7- Timothy M, Roert L(1996). Mynar, Chemical Warfar Agent: Toxicology and Treatment, P: 76 - 84.
- ۸- غنی‌زاده قادر (۱۳۷۸). بررسی کارایی راکتورهای ناپیوسته متوالی با محیط گرانول کربن فعال در تصفیه فاضلاب‌های شهری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پزشکی، صفحات: ۱۸ - ۱۲.
- 9- Avcioglu E, Orhon D, Sozen s(1998). A New Method for the Assesment of Hetro thro phic-Endogchous Respiration Rate under Aerobic And Anoxic Condition, J Wa Sci Tech Vol; 38(8 - 9): 95 - 103.
- 10- Kumara BM, Chaudhari S(2003). Evaluation of Sequencing Batch reactor (SBR) and Sequencing Batch Biofilm Reactor (SBBR) for Biological Nutriant Removav from Simulated Wastewater Containing Glucose as Carboin Source. J Water Sci Techno; 48(3): 73 - 9.
- 11- Dignac MF, urbain v, Ryback D, and a ruchet(1998). Chemical

فاضلاب‌هایی بایستی به‌وسیله فرآیندهای بی‌هوازی و یا به‌وسیله راکتورهای ناپیوسته متوالی تصفیه شوند. از آنجایی که پساب تولید شده از تصفیه فاضلاب به‌وسیله فرآیندهای بی‌هوازی استانداردهای زیست محیطی را تأمین نمی‌کنند، این پساب‌ها بایستی مجدداً به‌وسیله فرآیندهای هوازی تصفیه شوند. به‌دلیل این‌که کاربرد فرآیندهای دو مرحله‌ای خود با مشکلات عدیده‌ای مواجه است. امروزه استفاده از راکتورهای ناپیوسته متوالی که می‌تواند تلفیقی از محیط‌های هوازی و بی‌هوازی را با تغییر شرایط هوادهی در یک راکتور ایجاد کند. برای تصفیه فاضلاب‌های بسیار

- Description of Extra cellular polymers : Implication on Activated sludge Floc struc ture. J Wat Sci Tech; 38( 8 - 9): 45 - 53.
- 12- Ong SA, Lim PE, Seng CE(2003). Effects of Adsorbants and Copper II on Activated Sludge Microorganisms and Sequencing Batch Reactor Treatment Process. J.Hazar Mater; 103(3): 263 - 77.
  - 13- Chiavola A, McSwain BS, Irvine RL, Boni MR(2003). Baciocchir, Biodegradation of 3 - Chlorophenol in Sequencing Batch Reactor, J Environ Sci Health Part Tox Hazard Subst Environ Eng; 38(10): 2113 - 23.
  - 14-David A(1997). Irvine, Jame sp, Earley, Danielp, cassidy and steven p, Harvey, Biodegradation of sulfur Mustard Hydrolysate in The SBR, J Wa Sci Tech; 35(1): 67 - 74.
  - 15- Elisabeth V, Pauland M(1996). Simultanuse Nitrification and Denitrification in Bench -Scale Sequencing Batch Reactor, J Water Research; 3(2): 277 - 284.
  - 16- Irvin R(1985), Organic Loading Study of Full - Scale Sequencing Batch Reactor, J WPCF; 57(8): 847 - 852.
  - 17- Palisjohn C, Irvin R(1985). Nitrogen Removal in a Low Loaded Single Tank SBR, J WPCF; 57(1): 82 - 86.
  - 18- Orhon D, Cimsit Y(1996). Substate Removal Mechanism For Sequencing Batch Reactors, J Water Science & Technology; 18(21): 161 - 169.
  - 19- Renisk R, Irvin R(1979). Effect of fill: React Ratio on Sequencing Batch Reactors”, J.WPCF;51(2): 255 - 261.
  - 20- Renisk R, Irvin R(1979). Effect of fill: React Ratio on Sequencing Batch Reactors, J WPCF; 51( 2): 255 - 261.
  - 21- Gudy G, Niury M(1997). Modeling of Sequencing Batch Reactors for Municipal Waste water Treatment, J Water Environmental Research; 31(10): 1 - 3.
  - 22- Mercel JG(1998). Activated sludge Process: Theory and Application, Mercel Decker Inc, P: 167 - 175.