

## روش‌های نوین تصفیه غشایی شیرابه ناشی از مراکز دفن زباله

سید سیاوش مدائنی\*، سعید سمیعی راد

کرمانشاه، دانشگاه رازی، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی شیمی

پیام‌نگار: Smadaeni@yahoo.com

### چکیده

آلودگی زیر زمینی به وسیله شیرابه مراکز دفن زباله مشکل بزرگی برای محیط زیست است. اگر شیرابه بدون هیچگونه تصفیه ویژه‌ای در محیط زیست رها شود، باعث کاهش نرخ اکسایش نیتراژها و در نتیجه بوجود آمدن آمونیاک خطرناک می‌شود. امروزه برای تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله از تکنیک‌های منفرد یا ترکیبی و به صورت سیستم‌های یک و چند مرحله‌ای یا زنجیره‌ای استفاده می‌شود. با توجه به وجود مواد سمی و غیر قابل تجزیه درون شیرابه، تصفیه بیولوژیکی به تنهایی قادر به از بین بردن مواد آلی غیر قابل تجزیه نیست و این تصفیه آلودگی شیرابه را به مقداری می‌رساند که دارای مقادیر زیادی سی او دی می‌باشد که قابل تخلیه در محیط زیست نیست. در نتیجه استفاده از فرایندهای (فیزیکی - شیمیایی) به عنوان پیش تصفیه، پس تصفیه و گاهی تصفیه کامل جهت دستیابی به استانداردهای مورد نظر ضروری می‌باشند. برای حذف آثار منفی شیرابه مراکز دفن زباله بر محیط زیست می‌توان از فرایندهای غشایی استفاده کرد. جریان خروجی از غشا را بدون نیاز به تصفیه بیشتر می‌توان به رودخانه یا آب سطحی هدایت کرد. عمل فیلتراسیون غشایی می‌تواند برای جداسازی مواد آلی فاضلاب و شیرابه اقتصادی باشد. ترکیب فرایند بیولوژیکی با فرایندهای غشایی باعث افزایش در صد خلوص می‌گردد.

کلمات کلیدی: شیرابه، تصفیه غشایی، مراکز دفن زباله، اسمز معکوس

### ۱- مقدمه

حاوی آمونیاک و هیدرو کربن‌های هالوژن‌دار و فلزات سنگین و دارای غلظت بالایی از نمک‌های غیر آلی مثل سدیم کلراید و سدیم کربنات می‌باشد [۱]. با ارزیابی شیرابه‌های بیش از ۱۵۰ مرکز دفن زباله مشاهده می‌شود که مقدار اجزای حل شده در شیرابه ۲-۱۵g/lit و درصد اجزای آلی ۳-۰/۱ g/lit است که خیلی کمتر از اجزای غیر آلی (۱۴/۳-۱/۶) شامل آمونیاک (۲-۰/۳) می‌باشد [۲]. ۹۵-۸۰٪ ترکیبات حل شده در شیرابه مراکز دفن زباله‌ها را مواد غیر آلی فقط ۲۰-۵٪ آنها را مواد آلی تشکیل می‌دهد.

زباله‌های جامد بعد از دفن در اثر هیدرولیز ترکیبات آلی دچار تغییرات زیست‌شناختی و فیزیکی شیمیایی می‌شوند و در نتیجه قسمت آلی زباله تجزیه می‌شود و ایجاد آلودگی شدیدی به نام شیرابه<sup>۱</sup> می‌کند. این مایع بد بو، به رنگ قهوه‌ای تیره و متشکل از مقادیر زیادی مواد آلی و غیر آلی است که برای محیط زیست و آبهای سطحی و زیر زمینی خطرناک می‌باشد. شیرابه همچنین

1. Leachate

مرحله‌ای یا زنجیره‌ای استفاده می‌شود جداسازی ترکیبات مضر موجود در شیرابه توسط فرایندهای غشایی به صورت منفرد و ترکیب با فرایندهای زیست‌شناختی و فیزیکی‌شیمیایی و رساندن آن به حد مجاز برای تخلیه به محیط زیست در این مطالعه مد نظر است.

## ۲- تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله

امروزه روشهای تصفیه شیرابه‌ها توسعه یافته است به طوری که برای تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله از روش‌های منفرد یا ترکیبی و به صورت سیستم‌های یک و چند مرحله‌ای یا زنجیره‌ای استفاده می‌شود. مرحله اول فرایند عموماً مربوط به فرایند زیست‌شناختی، برای حذف آمونیاک سی او دی و بی او دی می‌باشد.

از آنجایی که اغلب تصفیه‌های مرسوم زیست‌شناختی، آلودگی شیرابه را به حد مجاز تخلیه در محیط زیست نمی‌رسانند در نتیجه باید از روشهای تصفیه دیگری مثل روشهای فیزیکی‌شیمیایی برای حذف ترکیبات نامطلوب استفاده گردد [۵].

با ترکیب تصفیه‌های زیست‌شناختی با فرایند جذب سطحی به وسیله کربن فعال یا با اکسید کردن مواد آلی حل شده به وسیله عوامل اکسید کننده، بخشی از این آلودگی‌ها حذف می‌گردد ولی به حد مجاز نمی‌رسد. یکی از این موارد سی او دی سخت<sup>۱</sup> نامیده می‌شود که به وسیله فرایندهای نظیر جذب سطحی و اکسید شدن و فرایندهایی نظیر این فرایندها از بین نمی‌رود [۶].

شیرابه را به طرق مختلف می‌توان جمع آوری و تصفیه کرد.

۱- تبخیر شیرابه و تبدیل به فاز جامد و استفاده از بیوگاز آن

۲- رها کردن آن به سیستم تصفیه فاضلاب و انتقال آن به واحد تصفیه فاضلاب

۳- تصفیه فیزیکی‌شیمیایی و زیست‌شناختی که اکثراً پرهزینه هستند.

روش دوم روش موثری نیست زیرا مواد تجزیه ناپذیر در جریان شیرابه مراکز دفن زباله باعث ایجاد مشکل می‌شوند [۲].

### ۲-۱ تصفیه زیست‌شناختی شیرابه

اگر شیرابه بدون هیچگونه عملیاتی در فرایند تصفیه رها شود، بار آلی

10. Hard COD

تحقیقات نشان می‌دهد که عمده مواد آلی شیرابه را ترکیباتی از نوع مواد هیومیک<sup>۱</sup> تشکیل می‌دهند

مواد هیومیک ماکرومولکولهای آنیونی مقاومی هستند که حد وزن مولکولی آنها بین ۱۰۰۰ Da (فالویک اسید<sup>۲</sup>) تا ۱۰۰۰۰ DA (هیومک اسید<sup>۳</sup>) می‌باشد. این مواد شامل هر دو نوع ترکیبات آلیفاتیک و آروماتیک با گروههای عاملی فنولیک و کربوکسیلیک می‌باشند [۳].

بی او دی<sup>۴</sup> شیرابه (اکسیژن مورد نیاز برای اکسایش آلودگی‌های فاضلاب به روش بیولوژیکی) در حدود ۲۰/۰۰۰ و سی او دی<sup>۵</sup> (اکسیژن لازم برای اکسایش آلودگی در فاضلاب به روش شیمیایی) آن در حدود ۶۰/۰۰۰ است. زباله‌های موجود در مراکز دفن زباله اغلب دارای درجه شوری بالایی می‌باشند. مواد دیگر موجود در شیرابه به میزان<sup>۶</sup> TDS ۱-۲٪ بایون‌های  $Ca^{2+}$  و  $K^+$  و  $Na^+$  و  $Cl^-$  و ترکیبات آلی پایداری مثل دی اکسان و ترکیبات مهمی نظیر AOX<sup>۷</sup>، اسید هیومیک، کلراید و نیتروژن آمونیاکی می‌باشند که حذف این مواد با تصفیه مرسوم امکان پذیر نیست.

تعدادی کولی<sup>۸</sup> و ارگانیسیم‌های استرپتوکوکوس<sup>۹</sup> ۱۰<sup>۶</sup>-۱۰<sup>۹</sup> بر  $cm^3$  (در ماههای تابستان) می‌باشند.

این مواد موجود در شیرابه به درون زمین وارد می‌شوند و خطر جدی برای آبهای زیرزمینی هستند [۴].

اصولاً کیفیت شیرابه به سن واحد دفن بستگی زیادی دارد، به این صورت که هر چه از زمان دفن می‌گذرد، از غلظت آلودگی شیرابه کاسته می‌شود. مسلماً تجزیه زیست‌شناختی زباله در مدفن‌های جدید فعالتر است. شیرابه تولیدی بسیار اسیدی است و انحلال‌پذیری زیادی دارد. بدین ترتیب هر چه از عمر مدفن می‌گذرد، عملیات تجزیه تخمیر کاهش یافته، pH مواد بیشتر شده و انحلال‌پذیری آن کاسته می‌شود. امروزه برای تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله از تکنیک‌های منفرد یا ترکیبی و به صورت سیستم‌های یک و چند

1. Humic Substance
2. Fulvic Acid
3. Humic Acid
4. Biological Oxygen Demand
5. Chemical Oxygen Demand
6. Total Dissolved Solid
7. Adsorptive Organic Halogen
8. E-Coli
9. Streptococcus

آن، افزایش، و در اکثر نمونه ها، گنداب و تولید لجن نیز افزایش می‌یابد. تولید لجن می‌تواند باعث کاهش نرخ اکسایش نیتراتها و در نتیجه بوجود آمدن آمونیاک می‌شود که سمی است.

فرایندهای تصفیه زیست‌شناختی، عمومی‌ترین روش برای تصفیه شیرابه زباله می‌باشند و چنانچه واحد تصفیه مورد نظر، دقیق، طراحی شود و بهینه عمل نماید می‌توان آن را فناوری با بازدهی بالا محسوب کرد. این فرایندها می‌توانند به دو شاخه هوازی و بی‌هوازی و هر یک از این فرایندها به سیستمهایی تقسیم می‌شوند.

تصفیه زیست‌شناختی بی‌هوازی<sup>۱</sup>

- صافی بی‌هوازی<sup>۲</sup>

- راکتور لجن بی‌هوازی<sup>۳</sup>

- تصفیه زیست‌شناختی هوازی<sup>۴</sup>

- لاگون‌های هوازی<sup>۵</sup>

- لجن فعال<sup>۶</sup>

- سیستمهای زیست‌شناختی چرخشی<sup>۷</sup>

- صافی‌های قطره‌ای<sup>۸</sup>

## ۲-۲ تصفیه فیزیکی شیمیایی شیرابه

شیرابه حاصله از تصفیه زیست‌شناختی دارای مقادیر زیادی سی او دی است و نیازمند تصفیه فیزیکی شیمیایی می‌باشد.

تصفیه فیزیکی شیمیایی برای حذف ترکیباتی از شیرابه که به وسیله فرایند زیست‌شناختی غیرقابل جذب استفاده می‌شود که شامل فرایندهای زیر می‌باشد [۵ و ۷].

- انعقاد ته نشینی<sup>۹</sup>

- ته نشینی شیمیایی<sup>۱۰</sup>

- دفع آمونیم<sup>۱۱</sup>

- فرایندهای غشایی<sup>۱۲</sup>

- تعویض یون<sup>۱۳</sup>

1. Anaerobic Biological Treatment
2. Anaerobic Filter
3. Anaerobic Sludge Bed Reactor
4. Aerobic Biological Treatment
5. Aerated Lagoons
6. Activated Sludge
7. Rotating Biological Contactors
8. Trickling Filter
9. Coagulation-Sedimentation
10. Chemical Precipitation
11. Ammonium Stripping
12. Membrane Filtration

- کربن فعال جاذب<sup>۱۴</sup>

- اکسایش فنتون<sup>۱۵</sup>

## ۳- فرایندهای غشایی

برای حذف تاثیرات منفی شیرابه مراکز دفن زباله بر محیط زیست می‌توان از فرایندهای غشایی استفاده کرد. فناوری غشاء برای تصفیه شیرابه‌ها رشد و ترقی کرده است. وقتی هزینه‌های کلی برای عمل صاف کردن غشایی با فرایندهای دیگر مقایسه شود، نتیجه گرفته می‌شود که برای جداسازی مواد آلی فاضلاب و شیرابه، اقتصادی می‌باشد.

### ۳-۱ اسمز معکوس (RO)

یکی از موارد توسعه برای تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله توسط فرایندهای غشایی در دهه گذشته استفاده از فرایند اسمز معکوس بوده است. از فرایند اسمز معکوس برای تصفیه فیزیکی شیمیایی شیرابه تثبیت شده استفاده می‌شود. این فرایند در مقایسه با تصفیه زیست‌شناختی، یک فرایند مجزا با دو جریان می‌باشد: یکی جریان نفوذی<sup>۱۶</sup> با آلودگی پایین و دیگری جریان غلیظ<sup>۱۷</sup> با آلودگی‌های آلی و غیر آلی بالا که به روشهای زیر از محیط زیست پاک می‌شوند. ۱- انتقال محلول غلیظ به واحد سوزاننده که در آنجا مایع‌های خطرناک سوزانده می‌شوند.

۲- جامد کردن با مواد مختلف مثل خاکستر یا لجن از واحد تصفیه فاضلاب

۳- با کنترل تغلیظ مجدد، محلول تغلیظ شده را به جایگاه دفن زباله برمی‌گردانند.

خروجی از غشای اسمز معکوس، آب خالص است که دارای مقادیر بسیار اندکی از مواد آلوده‌کننده آلی و غیر آلی است که می‌توان این آب را در رودخانه رها کرد [۲].

در بین روشهای تصفیه شیرابه، روش اسمز معکوس به صورت گسترده به کار می‌رود. این فرایند قابلیت جداسازی آلاینده‌های آلی موجود در شیرابه را با بازدهی و کیفیت بالا دارا می‌باشد.

13. Ion Exchange
14. Activated Carbon Adsorption
15. Fenton Oxidation
16. Permeate
17. Retentate

وآب‌دوستی بیشتری نسبت به پلیمرهای دیگر مثل پلی سولفون و پلی اتیلن ترفتالات دارند. در واقع انتخاب غشای مناسب برای تصفیه شیرابه به عوامل متعددی از قبیل خواص، طبیعت و غلظت مواد موجود در شیرابه وابسته است [۸].

### ۲-۳ غشاهای نانوصاف کردن

غشاهای نانوصاف کردن در مقایسه با غشاهای اسمز معکوس ساختار سست‌تر و شار بیشتری دارند و به فشار عملیاتی کمتری نیاز دارند. اکثر غشاهای نانوصاف کردن بار دار و دارای بار منفی هستند. فرایند نانوصاف کردن به علت خواص منحصر به فرد آن در جداسازی ترکیبات آلی قوی و فلزات سنگین از شیرابه مراکز دفن زباله، جایگاه مهمی را در امر تصفیه شیرابه اشغال کرده است. این فرایند، قابلیت حذف ذرات و مواد با وزن مولکولی بالاتر از  $300 \text{ Da}$  را دارد.

نتایج حذف فلزات سنگین از شیرابه تثبیت شده مراکز دفن زباله‌ها که با غشای نانوصاف کردن صورت گرفته است نشان می‌دهد که  $88\%$  از کاتیونهای فلزی نظیر  $\text{Pb}^{+2}$  و  $\text{Zn}^{+2}$  و  $\text{Cd}^{+2}$  که دارای غلظت اولیه  $0.7 \text{ (mg/l)}$  هستند حذف شده اند. غشای نانوصاف کردن برای حذف ترکیبات ارگانیک با غلظت سی او دی  $920-3000 \text{ (mg/l)}$  بازدهی تصفیه بالای  $65\%$  را دارا می‌باشد. به دلیل گروه عاملی با بار منفی بر روی غشا نانوصاف کردن این غشا برای حذف فلزات سنگین موثر است.

به طور کلی اسمز معکوس برای حذف سی او دی و  $\text{(NH}_3\text{-N)}$  بسیار موثر است. بیش از  $95\%$  سی او دی با غلظت اولیه مواد آلی در محدوده  $335-2840 \text{ mg/l}$  و بیش از  $96\%$   $\text{(NH}_3\text{-N)}$  با غلظت اولیه  $140-33 \text{ mg/l}$  توسط غشای اسمز معکوس حذف می‌شود.

چنانچه از غشای اسمز معکوس با جنس پلی آمید استفاده شود، درصد حذف سی او دی  $100\%$  و میزان حذف  $\text{(NH}_3\text{-N)}$   $98\%$  خواهد بود. این فرایند دارای شار قابل قبول و قابلیت عملکرد در دما و pH مختلف است. همچنین برای حذف فلزات سنگین و مواد کلوئیدی معلق و جامدهای نامحلول در شیرابه مراکز دفن زباله به کار می‌رود. فرایند اسمز معکوس، بازدهی تصفیه را برای حذف ترکیبات آلی غیر قابل تجزیه به صورت محسوسی بالا می‌برد.

با وجود این، امتیازات پس دهی پایین مولکولهای کوچکی که از غشا می‌گذرند، باعث ایجاد رسوب مواد معلق یا حل شده در سطح خارجی غشاء می‌شوند و باعث ایجاد پدیده گرفتگی غشاء و کاهش شار خروجی می‌گردند.

جدول (۱) خلاصه مشخصات بعضی از غشاها و عملکرد آنها در تصفیه شیرابه را ارائه می‌دهد. در جدول (۲) عملکرد تصفیه توسط غشاها برای ترکیبات آلی و غیر آلی نشان داده شده است. نتایج بیانگر این است که غشاهایی که جنس پوسته آنها پلی آمید یا سلولوز استات است بازدهی بیشتری برای حذف ترکیبات ارگانیک و  $\text{NH}_3\text{-N}$  در مقایسه با پلی وینیل کلراید دارند [۸]. این ممکن است به این دلیل باشد که غشای تولید شده از پلی آمید تخلخل

جدول ۱- خواص تعدادی از غشاهای جهت تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله [ ۶ ]

| درصد حذف |                        | سازنده     | دما        | سطح غشاء   | فشار       | نوع مدول   | ماده پوسته       | کاربرد       | نوع غشاء   |
|----------|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|--------------|------------|
| COD      | $\text{NH}_3\text{-N}$ |            |            |            |            |            |                  |              |            |
| ۸۹       | ۷۲                     | موجود نیست | ۲۵         | ۲          | ۲۵         | حلزونی     | موجود نیست       | نانوصاف کردن | SW         |
| ۶۶       | ۵۰                     | موجود نیست | موجود نیست | ۴/۵        | ۶-۸        | صفحه ای    | موجود نیست       | نانوصاف کردن | Desal 5-DL |
| ۱۰۰      | ۹۸                     | موجود نیست | ۵-۳۵       | ۷/۶        | ۹-۱۱       | موجود نیست | پلی آمید         | اسمز معکوس   | DT         |
| ۹۸       | موجود نیست             | DOW        | ۲۸         | موجود نیست | ۵۲         | حلزونی     | موجود نیست       | اسمز معکوس   | SW30-2521  |
| ۹۷       | ۹۶                     | Filmtech   | موجود نیست | ۶/۷        | موجود نیست | حلزونی     | پلی آمید         | اسمز معکوس   | SW-4040    |
| ۹۵       | ۸۲                     | AFC99      | ۱۵         | ۹          | ۴۰         | لوله ای    | پلی آمید         | اسمز معکوس   | AFC99      |
| ۹۷       | موجود نیست             | موجود نیست | ۲۵         | ۱/۵۵       | ۲۷/۶       | لوله ای    | استات سلولز      | اسمز معکوس   | SS         |
| ۵۲       | موجود نیست             | موجود نیست | ۲۵         | ۲/۵        | ۳          | لوله ای    | پلی وینیل کلراید | فراصاف کردن  | PVC        |

جدول ۲- حذف ترکیبات آلی و غیر آلی موجود در شیرابه از طریق فرایندهای عشاایی [۴]

| فازات      | درصد پس دهی     |            | pH         | علاقت اولیه در شیرابه |            |                 |            |            |               | فشار (بار) | مواد       | نوع عشاء       | نوع تصفیه  | موقعیت مکانی     |        |
|------------|-----------------|------------|------------|-----------------------|------------|-----------------|------------|------------|---------------|------------|------------|----------------|------------|------------------|--------|
|            | نیترژن آمونیاکی | COD        |            | BOD                   | فازات      | نیترژن آمونیاکی | COD        |            |               |            |            |                |            |                  |        |
| ۱۰۰        | موجود نیست      | موجود نیست | موجود نیست | موجود نیست            | موجود نیست | موجود نیست      | ۰/۴۹       | موجود نیست | موجود نیست    | ۲۰۰۰       | ۲          | گرم مس سرب     | NIR-7250   | ناو فیلتر اسمیون | فرایسه |
| ۹۹         | موجود نیست      | موجود نیست | موجود نیست | موجود نیست            | موجود نیست | موجود نیست      | ۰/۱۳       | موجود نیست | موجود نیست    | ۲۰۰۰       | ۲          | گرم مس سرب     | NIR-7250   | ناو فیلتر اسمیون | فرایسه |
| ۹۳         | موجود نیست      | موجود نیست | موجود نیست | موجود نیست            | موجود نیست | موجود نیست      | ۰/۱۳       | موجود نیست | موجود نیست    | ۲۰۰۰       | ۲          | گرم مس سرب     | NIR-7250   | ناو فیلتر اسمیون | فرایسه |
| موجود نیست | ۷۲              | ۸۹         | موجود نیست | موجود نیست            | موجود نیست | موجود نیست      | موجود نیست | موجود نیست | موجود نیست    | ۲۰۰۰       | ۲          | گرم مس سرب     | NIR-7250   | ناو فیلتر اسمیون | فرایسه |
| موجود نیست | ۵۰              | ۶۶         | ۷/۶        | ۸۴                    | موجود نیست | موجود نیست      | ۰/۴۹       | موجود نیست | موجود نیست    | ۲۰۰۰       | ۶-۸        | موجود نیست     | Desal 5-DL | ناو فیلتر اسمیون | قلاده  |
| ۹۷         | موجود نیست      | موجود نیست | موجود نیست | موجود نیست            | موجود نیست | موجود نیست      | ۰/۶۱       | موجود نیست | موجود نیست    | ۲۰۰۰       | ۶-۸        | سرب روی کادمیم | AFC-30     | ناو فیلتر اسمیون | سوفک   |
| ۸۸         | موجود نیست      | موجود نیست | موجود نیست | موجود نیست            | موجود نیست | موجود نیست      | ۰/۵        | موجود نیست | موجود نیست    | ۲۰۰۰       | ۶-۸        | سرب روی کادمیم | AFC-30     | ناو فیلتر اسمیون | سوفک   |
| ۹۴         | موجود نیست      | موجود نیست | موجود نیست | موجود نیست            | موجود نیست | موجود نیست      | ۰/۱۳       | موجود نیست | موجود نیست    | ۲۰۰۰       | ۶-۸        | سرب روی کادمیم | AFC-30     | ناو فیلتر اسمیون | سوفک   |
| موجود نیست | ۹۶              | ۹۷         | موجود نیست | ۲۵۰                   | موجود نیست | موجود نیست      | موجود نیست | موجود نیست | موجود نیست    | ۱۵۰۰       | موجود نیست | موجود نیست     | SW-4040    | اسمز معکوس       | گرمه   |
| ۱۰۰        | ۹۸              | ۱۰۰        | ۶          | ۵                     | ۶۷۷        | ۲۳۷             | ۹۱۲        | موجود نیست | موجود نیست    | ۹۷۴        | ۹-۱۱       | مککز           | DT         | اسمز معکوس       | زاین   |
| ۱۰۰        | موجود نیست      | ۹۸         | ۶          | ۱۲۰۰                  | ۰/۵۰       | موجود نیست      | ۲۸۴۰       | ۵۲         | کادمیم روی مس | SW30-2531  | اسمز معکوس | ایتالیا        |            |                  |        |
| ۹۷         | موجود نیست      | ۹۸         | ۶          | ۱۲۰۰                  | ۰/۵۰       | موجود نیست      | ۲۸۴۰       | ۵۲         | کادمیم روی مس | SW30-2531  | اسمز معکوس | ایتالیا        |            |                  |        |
| ۹۹         | موجود نیست      | ۹۸         | ۶          | ۱۲۰۰                  | ۰/۵۰       | موجود نیست      | ۲۸۴۰       | ۵۲         | کادمیم روی مس | SW30-2531  | اسمز معکوس | ایتالیا        |            |                  |        |
| موجود نیست | ۸۲              | ۹۵         | ۷          | ۱۳۵                   | ۰/۱۲       | موجود نیست      | ۱۳۵۴       | ۴۰         | گرمه          | AFC9       | اسمز معکوس | سوفک           |            |                  |        |
| موجود نیست | ۹۸              | ۹۸         | ۶/۵        | موجود نیست            | موجود نیست | موجود نیست      | ۴۳۵        | ۳۰         | موجود نیست    |            | اسمز معکوس | سوفک           |            |                  |        |
| موجود نیست | ۹۸              | ۹۸         | ۶/۵        | موجود نیست            | موجود نیست | موجود نیست      | ۴۳۵        | ۴۰         | موجود نیست    |            | اسمز معکوس | سوفک           |            |                  |        |
| ۹۸         | ۱۰۰             | ۹۹         | ۷/۷        | ۵۴                    | ۰/۳۵       | موجود نیست      | ۱۹۹۷       | ۲۶-۶۰      | موجود نیست    | ۱۹۹۷       | ۲۶-۶۰      | موجود نیست     |            |                  |        |
| موجود نیست | ۵۸              | ۹۶         | ۶/۴        | ۵۱۰                   | موجود نیست | موجود نیست      | ۱۲۰۰۰      | موجود نیست | موجود نیست    | ۱۲۰۰۰      | موجود نیست | اسمز معکوس     | SS PVC     | ناو فیلتر اسمیون | آلمان  |
| موجود نیست | موجود نیست      | موجود نیست | ۷-۸        | ۳۳۱                   | موجود نیست | موجود نیست      | ۱۲۰۰۰      | ۲۷/۶       | موجود نیست    | ۱۲۰۰۰      | ۲۷/۶       | موجود نیست     | SS PVC     | ناو فیلتر اسمیون | لهستان |

سی او دی با غلظت اولیه (mg/L) ۴۵۰ را دارا می‌باشد. ترکیب غشای اسمز معکوس و فرایند تبخیر برای تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله در ایتالیا بررسی شده است. دو نوع غشای اسمز معکوس برای این مسئله در نظر گرفته شده است. سیستم دیگری شامل دو غشای اسمز معکوس و غشای اولترافیلتراسیون می‌باشد. برای این کار از یک سیستم تصفیه مقدماتی بی‌هوازی نیز استفاده شده است. جریان خوراک خروجی از راکتور لجن بی‌هوازی وارد غشای فراصاف کردن گردیده و خروجی غشای اولترافیلتراسیون به عنوان خوراک غشای اسمز معکوس در نظر گرفته شده است. غشاهای اسمز معکوس در فشار ۲۵bar و غشای اولترافیلتراسیون در فشار ۴ bar بکار گرفته شده اند [۱۰]. سیستم غشایی دیگری برای تصفیه شیرابه وجود دارد. این سیستم، تلفیقی از سه نوع غشای میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون و اسمز معکوس است. نمونه راپس از طی فرایندهای پیش تصفیه و میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون از غشای اسمز معکوس عبور می‌دهند. مرحله میکروفیلتراسیون از غشای لوله‌ای پلی پروپیلن<sup>۶</sup>، مرحله اولترافیلتراسیون از غشای لوله‌ای پلی اتر سولفون<sup>۷</sup> و مرحله اسمز معکوس از غشای حلزونی از جنس پلی آمید<sup>۸</sup> است. این سیستم، شامل عملیات موثری برای حذف سی او دی از شیرابه مراکز دفن زباله است و تغییرات قابل توجهی در شوری و هدایت شیرابه ایجاد می‌کند. هدایت شیرابه وابستگی زیادی به دمای محیط دارد.

سیستم دیگری شامل غشاهای پی در پی فراصاف کردن می‌باشد که به صورت جریان متقاطع از آن استفاده می‌شود. از فرایند پیش تصفیه، انعقاد و ته نشینی و عبور از غشای میکروفیلتراسیون با حفرات  $0.22 \mu\text{m}$  برای جداسازی جامدات معلق موجود در شیرابه استفاده شده است. تراوه<sup>۹</sup> خروجی از غشاء ۵۰kDa به عنوان خوراک وارد غشاء ۲۰kDa می‌گردد و خروجی از غشاهای ۲۰kDa وارد غشا ۵ kDa می‌شود.

نتایج سیستم غشایی پی در پی اولترافیلتراسیون نشان می‌دهد در غشای ۵۰ KDa حذف سی او دی، ۳۳٪ می‌باشد ولی رنگی در این مرحله حذف نمی‌شود. تراوه<sup>۹</sup> غشای ۵۰kDa توسط غشای اولترافیلتراسیون ۲۰ KDa صاف می‌شود. ۱۷٪ سی او دی و ۲۷٪

برای بازدهی بالای غشا باید گرفتگی غشاء<sup>۱</sup> که اغلب ناشی از تجمع مواد بر سطح غشا یا درون حفره‌های آن است کنترل گردد. مواد حل شده و مواد کلوئیدی و ذرات معلق در شیرابه می‌تواند عامل این پدیده باشد.

در سیستم غشایی از دو غشای نانوصاف کردن (MPT-۲۰) از جنس پلی استر با نگهدارنده از جنس پلی آکریلونیتریل و دارای بار منفی کم و (MPT-۳۱) از جنس پلی پروپیلن با نگهدارنده از جنس پلی سولفون و دارای بار منفی بالا استفاده شده است. تراوه، عاری از رنگ است و TDS<sup>۲</sup> آن ۹۹٪ کاهش یافته است. پارامترهای آلی COD/BOD برای غشای نانوصاف کردن (MP-۲۰)، ۷۰٪ و برای غشای (MPT-۳۱) به میزان ۸۰٪ کاهش یافته است [۳]. ترکیبات حل شده داخل شیرابه تمایل بیشتری به ایجاد رسوب<sup>۳</sup> بر روی غشای (MPT-۳۱) را دارند. زیرا نفوذپذیری غشای (MP-۳۱) قدری کمتر از غشای (MPT-۲۰) است. درصد کاهش نفوذپذیری در غشای (MPT-۳۱)، ۲۷٪ و برای غشای (MPT-۲۰)، ۴٪ است. ضمناً چون غشای (MPT-۳۱) از جنس پلی سولفون است جذب سطحی ترکیبات هیومیک بر روی آن بیشتر از غشای (MPT-۲۰) است [۳].

#### ۴- تصفیه ترکیبی

##### ۴-۱ ترکیب فرایندهای فیزیکی شیمیایی

ترکیبی از نانوصاف کردن و فرایند انعقاد و ته نشینی برای تصفیه شیرابه تثبیت شده از مراکز دفن زباله فرانسه مطالعه شده است. ترکیب اولترافیلتراسیون و کربن فعال نیز برای تصفیه شیرابه بررسی شده است. این، تکنولوژی جذب مواد ارگانیک به همراه صاف کردن جریان عرضی<sup>۴</sup> در یک واحد است. غلظت اولیه سی او دی (mg/L) ۳۰۵۰ است و در حدود ۹۷٪ سی او دی، حذف شده است. اضافه کردن کربن فعال پودری<sup>۵</sup> (PAC) باعث افزایش تراوه‌تاثیر مثبت بر عملکرد غشاء می‌شود [۹].

ترکیب فرایند نانوصاف کردن و جذب برای تصفیه شیرابه تحت بررسی است و نتایج نشان می‌دهد که این ترکیب قابلیت حذف ۹۷٪

1. Fouling
2. Total Dissolved Solid
3. Deposit
4. Cross-Flow
5. Powder – Activated-Carbon

6. Polypropylene
7. Polyethersulphone
8. Polyamide

ترکیب فرایند اسمز معکوس با نانو صاف کردن و کریستالیزاسیون، روشی برای فرایند اقتصادی تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله است. در این سیستم TDS از (mg/l) ۲۵۰۰ به (mg/l) ۸، TOC از (mg/l) ۱۷۵۰ به (mg/l) ۴ و TOX از (mg/l) ۱۵۵ به (mg/l) ۰/۰۰۲ می‌رسد. تراوه خروجی با استانداردهای محیط زیست مطابقت دارد و می‌توان آن را در رودخانه رها نمود [۲].

#### ۲-۴ ترکیب تصفیه فیزیکوشیمیایی و زیست‌شناختی

تلفیق فرایندهای فیزیکوشیمیایی با تصفیه زیست‌شناختی برای حذف ترکیبات قوی از شیرابه، بازدهی بالایی دارد. ترکیب فرایند اسمز معکوس و لجن فعال برای تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله انجام شده است. نمونه دارای غلظت اولیه سی او دی به مقدار (mg/l) ۶۴۴۰ و (NH<sub>3</sub>-N) به مقدار (mg/l) ۱۱۵ بوده و توسط این ترکیب تمامی سی او دی و NH<sub>3</sub>-N حذف شده است [۵].

از ترکیب راکتور لجن بی‌هوازی و غشای اسمز معکوس برای تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله استفاده شده است. راکتور لجن بی‌هوازی به عنوان پیش تصفیه شیرابه به کار گرفته شده است. غلظت اولیه سی او دی و (NH<sub>3</sub>-N) به ترتیب (mg/l) ۳۵۰۰ و (mg/l) ۱۶۰۰ می‌باشد. ترکیب این دو فرایند برای حذف کلی این ترکیبات به کار گرفته شده است. جریان خروجی از غشاء بدون تصفیه دیگری به رودخانه یا آب سطحی ریخته می‌شود [۱۱].

در جدول (۴) مقایسه‌ای برای ترکیب فرایندهای مختلف به منظور حذف (NH<sub>3</sub>-N) و سی او دی موجود در شیرابه مراکز دفن زباله انجام شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود به وسیله اسمز معکوس و PAC و نانوصاف کردن در محدوده سی او دی از (mg/l) ۳۸۴۰-۱۷۰۰ درصد حذف سی او دی ۹۸-۹۵٪ و برای (NH<sub>3</sub>-N) در محدوده (mg/l) ۸۱۶۵-۳۲۶۰ درصد حذف (NH<sub>3</sub>-N)، ۹۴-۹۸٪ می‌باشد. تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله توسط فرایند نانوصاف کردن و اسمز معکوس در آلمان بررسی شده است. برای فرایند اسمز معکوس درصد حذف سی او دی ۹۹٪ و NH<sub>3</sub>-N، ۱۰۰٪ است. برای فرایند نانوصاف کردن در صد حذف سی او دی ۹۶٪ و (NH<sub>3</sub>-N)، ۵۸٪ است که در جدول (۵) آمده است.

رنگ حذف می‌شود. در غشای KDa ۵، ۸٪ سی او دی و ۵۰٪ رنگ حذف می‌شود. از دو نمونه شیرابه در این کار استفاده شده است که در جدول (۳) آورده شده‌اند. این ۲ نمونه بسیار شبیه هم هستند و نسبت بی او دی به سی او دی نشان می‌دهد که مواد ارگانیک موجود در شیرابه بسیار سرسخت و مقاوم و تجزیه ناپذیر هستند. غلظت (آمونیم-نیترژن) و درجه رنگ شیرابه و یونهای K<sup>+</sup> و Na<sup>+</sup> و Ca<sup>2+</sup> و Mg<sup>2+</sup> و کلرایدو فلزات سنگین در شیرابه بالایی باشد [۷].

برای خلوص و بازیابی بیشتر می‌توان از ترکیب فرایند نانو صاف کردن با فرایند اسمز معکوس استفاده کرد.

جدول ۳- خواص شیرابه لندفیل [۸]

| پارامتر         | نمونه ۱ | نمونه ۲ |
|-----------------|---------|---------|
| pH              | ۸/۲     | ۸/۵     |
| COD             | ۳۴۶۰    | ۳۴۷۰    |
| BOD             | ۱۵۰     | ۱۵۰     |
| BOD/COD         | ۰/۰۴    | ۰/۰۴    |
| TOC             | ۸۲۰     | ۱۰۰۰    |
| TOC/COD         | ۰/۲۴    | ۰/۲۹    |
| رنگ             | ۵۳۰۰    | ۶۹۰۰    |
| نیترژن آمونیاکی | ۸۰۰     | ۷۵۰     |
| کلراید          | ۴۱۳۰    | ۵۱۴۰    |
| کادمیم          | <۰/۰۱   | <۰/۰۱   |
| مس              | ۰/۰۸    | ۰/۰۱    |
| کروم            | ۰/۲     | ۰/۱     |
| سرب             | <۰/۱    | <۰/۱    |
| جیوه            | ۲       | ۱/۲     |
| منگنز           | ۰/۲     | ۰/۰۵    |
| روی             | ۰/۳۵    | ۰/۲۵    |
| نیکل            | ۰/۱     | ۰/۲۵    |
| آهن             | ۵/۵     | ۸       |
| آلومینیوم       | <۰/۱    | <۰/۱    |
| سدیم            | ۲۷۰۰    | ۳۲۰۰    |
| پتاسیم          | ۱۷۰۰    | ۱۹۰۰    |
| کلسیم           | ۳۲      | ۲۴۰     |

جدول ۴- مقایسه بین درصد حذف COD و NH<sub>3</sub>-N در فرایندهای فیزیکی شیمیایی [۴]

| نوع تصفیه       | نوع جاناب / ممتد کننده / رسوب دهنده / الکتروود / اضماء | مقدار     | غلظت اولیه در شیرابه | غلظت اولیه در شیرابه | فشار | BOD/COD   | pH    | pH        | بازده حذف |
|-----------------|--|-----------|----------------------|----------------------|------|-----------|-------|-----------|-----------|
| جذب سطحی        | PAC  | ۶         | ۲۱۵                  | فلرات سنگین          | -    | وجود نیست | ۱۱    | وجود نیست | ۹۵        |
| دفع آمونوم      | Ca(OH) <sub>2</sub>                                    | ۱۱        | ۵۶۹۰                 | نیتروزن آمونیاکی     | -    | ۰/۶       | ۱۱    | وجود نیست | ۹۴        |
| رسوب شیمیایی    | Struvite   | وجود نیست | ۴۷۸۰۰                | وجود نیست            | -    | ۰/۲۲      | ۸/۵-۹ | وجود نیست | ۹۸        |
| اسمز معکوس      | SW30-2521  | ۷۵۱۱      | ۵۶۱۸                 | وجود نیست            | ۵۲   | ۰/۳۱      | ۶     | وجود نیست | ۹۸        |
| نانو فیلتراسیون | وجود نیست  | ۳۸۴۰      | وجود نیست            | وجود نیست            | ۰/۳  | ۰/۳       | ۶/۴   | وجود نیست | ۹۸        |

جدول ۵- فن آوری ترکیبی تصفیه شیرابه لندفیل [۴]

| موقعیت مکانی | نوع تصفیه ترکیبی                    | رسوب دهنده/جاناب | مقدار     | غلظت اولیه در شیرابه |                    | BOD/COD   | pH        | COD       | NH <sub>3</sub> -N | بازده حذف (%) |
|--------------|-------------------------------------|------------------|-----------|----------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|---------------|
|              |                                     |                  |           | COD                  | NH <sub>3</sub> -N |           |           |           |                    |               |
| ایتالیا      | اکسیداسیون ترکیبی فعال              | وجود نیست        | وجود نیست | ۱۹۴۰۰                | وجود نیست          | ۰/۹       | ۷/۱       | ۵۰        | ---                | وجود نیست     |
| ایتالیا      | اکسیداسیون ترکیبی فعال              | ---              | ---       | ۱۷۲۵۰                | ---                | ۰/۷۵      | ۷/۳       | ۲۶        | ---                | ---           |
| ایتالیا      | اکسیداسیون ترکیبی فعال              | ---              | ---       | ۳۱۰۰                 | ---                | ۰/۳۵      | ۷/۳       | ۲۷        | ---                | ---           |
| ایتالیا      | اکسیداسیون ترکیبی فعال              | ---              | ---       | ۴۴۰۰                 | ۱۱۵۳               | ۰/۴۱      | ۷/۸       | ۲۸        | ---                | ---           |
| آلمان        | اسمز معکوس+جاناب فعال               | ---              | ---       | ۶۴۴۰                 | ۱۶۰۰               | ۰/۷۰      | وجود نیست | ۹۹        | ---                | ---           |
| هلند         | اسمز معکوس+راکتور لجن غیر هوزاری    | ---              | ---       | ۳۵۰۰۰                | ۵۵۴۰               | ---       | ۷/۴       | ۹۹        | ---                | ---           |
| ترکیه        | راکتور لجن غیر هوزاری+Struvite      | STUVITE          | ۵/۷       | ۶۰۲۴                 | ۲۱۲۰               | وجود نیست | ۹/۲       | وجود نیست | ---                | ---           |
| ترکیه        | راکتور لجن غیر هوزاری+Struvite      | STUVITE          | وجود نیست | ۸۹۰۰                 | ۲۱۷۰               | وجود نیست | ۹/۳       | ۸۳        | ---                | ---           |
| ترکیه        | دفع آمونوم+Struvite                 | STUVITE          | وجود نیست | ۴۵۶۰                 | ۸۳۰                | وجود نیست | ۸/۱       | ۸۰        | ---                | ---           |
| وجود نیست    | غشایی بیو+راکتور لجن غیر هوزاری+GAC | GAC              | ۲/۷       | ۲۴۵۰                 | ۱۲۰                | ۰/۱۸      | ۶/۵-۷     | ۵۵        | ---                | ---           |
| آلمان        | غشایی بیو+راکتور لجن غیر هوزاری+GAC | GAC              | وجود نیست | ۱۹۸۰                 | ۴۹۳                | ۰/۱۶      | وجود نیست | ۶۵        | ---                | ---           |
| آلمان        | غشایی بیو+راکتور لجن غیر هوزاری+GAC | GAC              | ۰/۸-۱/۳   | ۱۴۰۰                 | ---                | ۰/۲۴      | ۷/۱       | ۹۲        | ---                | ---           |



همان‌طور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود در بین روشهای غشایی فرایند (اسمز معکوس + لجن فعال) و فرایند (اسمز معکوس + راکتور لجن بی‌هوای) بازدهی بالایی دارد و برای حذف تقریباً کامل سی او دی مربوط به  $(\text{NH}_3\text{-N})$  موجود در شیرابه به کار رفته است [۵].

جدول ۶- عملکرد روش های ترکیبی با بازدهی بالا [۶]

| $\text{NH}_3\text{-N}$ | نوع حذف  |     |            | COD/TOC    | BOD/COD    | ظایق اولیه در شیرابه   |            |      | ظرف (لیتر) | مقدار      | جاذب رسوب دهنده غشا                         | نوع تصفیه ترکیبی                                |
|------------------------|----------|-----|------------|------------|------------|------------------------|------------|------|------------|------------|---|---|
|                        | COD      | pH  | BOD        |            |            | $\text{NH}_3\text{-N}$ | COD        |      |            |            |   |   |
| موجود نیست             | ۹۰       | N/D | ۴۴۴        | موجود نیست | ۰/۰۶       | موجود نیست             | موجود نیست | ۷۴۰۰ | ---        | ۰/۵ - ۰/۸  | $\text{FeCl}_3$<br>$\text{FeH}_2\text{O}_2$ | انعقاد + لخته سازی + اکسیداسیون فیتون           |
| موجود نیست             | ۹۹       | ۶/۵ | موجود نیست | موجود نیست | موجود نیست | موجود نیست             | موجود نیست | ۴۰۰۰ | N/D        | ---        | GAC<br>Deral 5K<br>O3                       | جاذب GAC-انواع فیلتر اسفون + آهن                |
| موجود نیست             | ۹۰       | ۸-۹ | ۸۵۰        | موجود نیست | ۰/۱۷       | ۷۰۰                    | ۴۹۷۰       | ---  | ---        | ۵<br>۰/۰۱۵ | GAC<br>O3                                   | جاذب GAC-آزن                                    |
| موجود نیست             | ۹۷       | ۷   | ۱۴۷۸       | ۳/۶        | ۰/۵۵       | موجود نیست             | ۳۰۵۰       | ---  | ---        | ---        | GAC   | التر فیلتر اسفون + GAC                          |
| ۹۷<br>۹۸               | ۸۸<br>۸۰ | ۶/۴ | ۴۰۰۰       | ۳/۸        | ۰/۲۰       | ۴۰                     | ۱۹۹۰۰      | ---  | ---        | ---        | AD<br>SC                                    | اسمز معکوس + بیخیر<br>اسمز فعال + اسمز<br>معکوس |
| ۹۹                     | ۹۹       | --- | ---        | ---        | ۰/۷۰       | ۱۱۵۳                   | ۴۴۴۰       | ---  | ---        | ---        | ---   | ---   |
| ۹۹                     | ۹۹       | ۷/۴ | ---        | ---        | ---        | ۱۴۰۰                   | ۳۵۰۰۰      | ---  | ---        | ---        | ---   | اسمز معکوس از اکور TASB                         |

- [3] Peters, T.A., "Purification of landfill leachate with membrane filtration", *Filtration & Separation*, 35, 33–36, (1998).
- [4] Ushikoshi, K., Kobayashi, T., Uematsu, K., Toji, A., Kojima, D., Matsumoto, K., "Leachate treatment by the reverse osmosis system", *Desalination*, 150, 121–129, (2002).
- [5] Kurniawan T. A., Hung W., Chan, G., "Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate", *Journal of Hazardous Materials*, B129, 80–100, (2006).
- [6] Peters, T.A., "Purification of landfill leachate with reverse osmosis and nanofiltration", *Desalination*, 119, 289–293, (1998).
- [7] Silva, A.C., Dezotti. M., "Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate", *Chemosphere*, 55, 207–214, (2004).
- [8] Madaeni, S.S., Mansourpanah, Y., "COD removal from concentrated wastewater using membranes", *Filtration & Separation*, 40, 40–46, (2003).
- [9] Fettig, J., Stapel, H., Steinert, C., Geiger, M., "Treatment of landfill leachate by preozonation and adsorption in activated carbon columns", *Water Science Technology*, 34, 33–40, (1996).
- [10] Ozturk, I., Altinbas M., Koyuncu, I., Arikan, O., Gomec-Yangin C., "Advanced physico-chemical treatment experiences on young municipal landfill leachates", *Waste Management*, 23, 441–446, (2003).
- [11] Jans, J. M., Schroeff, A., Jaap A., "Combination of UASB pretreatment and reverse osmosis, in: T.H. Christensen, R. Cossu, R. Stegmann (Eds.), *Land filling of Waste Leachate*, Elsevier, 313–321, (1992).

مقایسه بین فرایندهای اولترافیلتراسیون و اسمز معکوس برای تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله به گونه‌ای است که باغلظت اولیه  $1780 \text{ (mg/l)}$  فرایند اسمز معکوس بازدهی بیشتری برای حذف سی او دی  $97\%$  نسبت به اولترافیلتراسیون  $52\%$  دارد. ترکیب فرایند بیولوژیکی با اسمز معکوس باعث افزایش درصدخلوص می‌گردد.

## ۵- نتیجه‌گیری

شیرابه مراکز دفن زباله نیازمند تصفیه می‌باشد تا از صدمه به محیط زیست ممانعت به عمل آید. تصفیه زیست‌شناختی به تنهایی قادر به انجام این کار نیست و در نتیجه استفاده از فرایندهای فیزیکوشیمیایی به ویژه فرایندهای غشایی جهت رسیدن به استانداردها ضروری می‌باشند. برای کیفیت بهتر محصول می‌توان از ترکیب فرایندها مثلاً ترکیب غشاءها همراه با تصفیه زیست‌شناختی بهره جست.

## مراجع

- [1] Bodzek, M., Łobos-Moysa, E., Zamorowska, M., "Removal of organic compounds from municipal landfill leachate in a membrane bioreactor", *Desalination*, 198 (1-3), 16-23, (2006).
- [2] Trebouet, D., Schlumpf, J. P., Jaouen, P., Quemeneur, F., "Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical–nanofiltration processes", *Water Research*, 35(12), 2935-2942, (2001).