

راهنمای جامع و کاربردی بهره برداری و نگهداری از تصفیه خانه های فاضلاب

(ویژه اپراتورها و مهندسان، با تمرکز بر نکات
میدانی و تجربیات واقعی)



مجموعه علمی آکادمی دانش محیط

راهنمای جامع و کاربردی بهره برداری و نگهداری از تصفیه خانه های فاضلاب

(ویژه اپراتورها و مهندسان، با تمرکز بر نکات میدانی و تجربیات واقعی)

(کاری از مجموعه علمی آموزشی آکادمی دانش محیط)

آدرس سایت مجموعه :

www.daneshemohit.ir

آدرس پیج اینستاگرام :

@daneshemohit

فهرست مطالب

۸	مقدمه
۹	فصل اول : مقدمه ای بر تصفیه فاضلاب و نقش اپراتور
۱۰	تکامل تصفیه فاضلاب و ضرورت عمل
۱۰	مفهوم موانع چندگانه
۱۰	اهداف تصفیه فاضلاب
۱۱	منابع فاضلاب
۱۱	ویژگی های فاضلاب
۱۲	• ویژگی های فیزیکی
۱۳	• ویژگی های شیمیایی
۱۴	• ویژگی های بیولوژیکی
۱۴	تأثیر زیست محیطی تخلیه های تصفیه نشده
۱۵	مراحل تصفیه فاضلاب
۱۶	نقش اپراتور تصفیه خانه
۱۷	مقدمه ای بر ایمنی
۱۸	فصل دوم: بهره برداری و نگهداری از واحد های تصفیه اولیه فاضلاب
۱۹	مقدمه: جایگاه حیاتی تصفیه اولیه فاضلاب
۱۹	هدف تصفیه اولیه فاضلاب
۱۹	تانک های ته نشینی
۱۹	انواع تانک های ته نشینی
۱۹	• تانک ته نشینی ساده
۱۹	• تانک ته نشینی سپتیک
۱۹	• تانک ته نشینی ایمهاف
۱۹	• تانک ته نشینی ترکیبی
۲۰	رویه های عملیاتی استاندارد
۲۱	نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه
۲۱	عیب یابی مشکلات متداول زلال سازها
۲۱	محاسبات کنترل فرآیند در تصفیه اولیه
۲۲	فرآیند شناورسازی : اصول، مکانیسم و مزایا

فصل سوم: بهره برداری و نگهداری از فرآیند لجن فعال.....	۲۴
مقدمه ای بر لجن فعال و اصول آن.....	۲۵
اصطلاحات کلیدی لجن فعال.....	۲۵
مراحل فرآیند لجن فعال.....	۲۶
انواع فرآیندهای لجن فعال.....	۲۷
عملیات روزمره و پارامترهای کنترلی.....	۲۸
استراتژی کنترل فرآیند.....	۲۹
عیب یابی سیستم لجن فعال.....	۳۰
محاسبات.....	۳۲
فصل چهارم: بهره برداری و نگهداری از واحد های بیولوژیکی صافی چکنده، دیسک های بیولوژیکی دوار و حوضچه های تثبیت.....	۳۵
صافی های چکنده.....	۳۶
• ساختار و نحوه کار صافی های چکنده.....	۳۶
• بهره برداری و نگهداری و رفع عیب.....	۳۷
• محاسبات کلیدی.....	۳۸
دیسک های بیولوژیکی دوار.....	۳۹
• ساختار و نحوه کار دیسک های بیولوژیکی دوار.....	۳۹
• بهره برداری و نگهداری و رفع عیب.....	۳۹
• محاسبات کلیدی.....	۴۰
حوضچه های تثبیت فاضلاب.....	۴۱
• ساختار و انواع حوضچه های تثبیت.....	۴۱
• بهره برداری، نگهداری و رفع عیب.....	۴۲
• محاسبات کلیدی.....	۴۳
فصل پنجم: مدیریت لجن و جامدات در تصفیه خانه های فاضلاب.....	۴۵
مقدمه ای بر لجن و منشاهای آن.....	۴۶
غلیظ سازی لجن.....	۴۷
هضم و تثبیت لجن.....	۴۸
آبگیری لجن.....	۴۹
محاسبات مهم در آبگیری لجن.....	۵۱
• درصد بازیابی جامدات.....	۵۱
• بازده فیلتر.....	۵۲

۵۳	• نرخ تغذیه بایوسالید.....
۵۴	• نرخ بارگذاری جامدات.....
۵۵	دفع و استفاده مجدد از لجن.....
۵۷	فصل ششم: بهره برداری و نگهداری از واحدهای گندزدایی.....
۵۸	هدف از گندزدایی.....
۵۸	کلرزی.....
۵۹	شیمی کلرزی.....
۵۹	اقدامات احتیاطی ایمنی در کلرزی.....
۶۰	عملیات و نگهداری در کلرزی.....
۶۱	عیب یابی و حل مشکلات کلرزی.....
۶۴	فرمول ها و مفاهیم کلیدی کلرزی.....
۶۵	کلرزدایی.....
۶۶	اقدامات احتیاطی ایمنی کلرزدایی.....
۶۶	عملیات و نگهداری در کلرزدایی.....
۶۷	عیب یابی و حل مشکلات کلرزدایی.....
۷۰	فصل هفتم: نمونه برداری و آزمایشات فاضلاب.....
۷۱	مقدمه ای بر آزمایشات آب و فاضلاب.....
۷۱	تکنیک های نمونه برداری.....
۷۲	آزمایش های کلیدی آزمایشگاهی.....
۷۴	اهمیت کنترل کیفیت و ایمنی آزمایشگاه.....
۷۵	فرکانس و نقاط نمونه برداری.....
۷۵	مقادیر بهینه و مجاز پارامترهای کلیدی تصفیه فاضلاب.....
۷۷	جدول مقادیر بهینه و مجاز پارامتر های کلیدی.....
۷۹	فصل هشتم: ایمنی در تصفیه خانه های فاضلاب.....
۸۰	اهمیت بنیادین نگهداری.....
۸۰	برنامه نگهداری پیشگیرانه جامع.....
۸۰	جزئیات نگهداری از تجهیزات خاص.....
۸۲	نظم و تمیزی و نقش آن در بهره برداری.....

۸۳	..... رویه های ایمنی
۸۴	..... اصول کلی ایمنی و رویه های ایمنی
۸۵	..... عملیات و نگهداری تجهیزات
۸۶	..... شناسایی و پیش بینی خطرات
۹۰	..... فصل نهم: عیب یابی سیستماتیک در بهره برداری از تاسیسات تصفیه فاضلاب
۹۱	..... رویکرد کلی برای عیب یابی
۹۱	..... عیب یابی در بخش تصفیه مقدماتی
۹۳	..... عیب یابی در بخش تصفیه اولیه
۹۵	..... عیب یابی در بخش لجن فعال
۹۸	..... عیب یابی در بخش فیلترهای چکنده
۹۹	..... عیب یابی در بخش دیسک های بیولوژیکی دوار
۱۰۱	..... عیب یابی در بخش حوضچه های تصفیه فاضلاب
۱۰۲	..... عیب یابی در بخش مدیریت لجن
۱۰۴	..... عیب یابی در بخش گندزدایی و کلرزدایی
۱۰۶	..... مثال های عملی عیب یابی
۱۱۸	..... فهرست منابع و مآخذ

www.daneshemohit.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر، توجه به بهره‌برداری صحیح و نگهداری اصولی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به یکی از نیازهای جدی در عرصه مدیریت منابع آب و حفاظت از محیط‌زیست بدل شده است. بهره‌برداری مؤثر از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نه تنها ضامن کیفیت مطلوب پساب و سلامت منابع آبی است، بلکه عاملی کلیدی در کاهش هزینه‌های عملیاتی، افزایش طول عمر تجهیزات و رضایت نهادهای نظارتی به‌شمار می‌آید. با این حال، فقدان منابع آموزشی کاربردی و قابل فهم، به‌ویژه برای اپراتورها و نیروهای اجرایی، همواره یکی از چالش‌های جدی در این حوزه بوده است.

راهنمای حاضر با هدف پاسخ‌گویی به این نیاز تدوین شده است. این مجموعه، نتیجه گردآوری و تلفیق مطالب منتخب از منابع علمی معتبر، تجربه‌های میدانی و نکات اجرایی است که به زبانی روان و ساختاری منظم، برای استفاده اپراتورها، تکنسین‌ها، کارشناسان بهره‌برداری، مهندسان، و دانشجویان رشته‌های مرتبط با محیط‌زیست، آب و فاضلاب و کلیه علاقه‌مندان به این حوزه فراهم شده است.

در تدوین این راهنما، تلاش شده تا ضمن پرهیز از پیچیدگی‌های تئوریک، اطلاعات کاربردی و ضروری با تأکید بر شرایط واقعی تصفیه‌خانه‌ها ارائه شود. همچنین در تدوین مطالب، تأکید ویژه‌ای بر نکات عملی، توصیه‌های ایمنی، عیب‌یابی متداول، نگهداری پیشگیرانه، و تجربیات میدانی شده است تا مخاطب بتواند ضمن درک بهتر فرآیندها، در موقعیت‌های واقعی، تصمیمات مؤثر و کم‌خطا اتخاذ نماید.

همچنین به منظور افزایش اثربخشی و سهولت در اجرای نکات کلیدی، یک فایل چک‌لیست عملیاتی و نگهداری دوره‌ای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به همراه فایل‌های اکسل محاسبات فرآیندی، کنترل بهره‌برداری و پایش آزمایشگاهی نیز به عنوان ابزارهای کاربردی برای تصمیم‌گیری سریع‌تر و کاهش خطا در مدیریت تصفیه‌خانه‌ها تهیه شده است. چک‌لیست‌های عملیاتی و نگهداری، به بهره‌برداران، کارشناسان فنی و اپراتورهای تصفیه‌خانه کمک می‌کند تا با رویکردی نظام‌مند، فرآیندهای روزانه، هفتگی و ماهانه بهره‌برداری را کنترل و مستندسازی نمایند.

امید است این راهنما بتواند به عنوان ابزاری مؤثر برای ارتقای دانش فنی، تسهیل آموزش، و بهبود کیفیت بهره‌برداری از تأسیسات تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد. بدون تردید، استمرار این مسیر نیازمند بازخورد، تجربه‌های عملی و همفکری جمعی فعالان این حوزه خواهد بود.

[مجموعه علمی آموزشی دانش محیط]

فصل اول

مقدمه ای بر تصفیه فاضلاب و نقش اپراتور

www.daneshemohit.ir

مقدمه‌ای بر تصفیه فاضلاب

تصفیه فاضلاب یک فرآیند اساسی با اهداف بسیار مهم برای حفاظت از سلامت مردم و محیط زیست است. از گذشته تا امروز، هدف اصلی این کار حفظ سلامت و رفاه جوامع بوده است. این هدف با کارهایی مثل جلوگیری از بیماری‌ها، محافظت از منابع آب آشامیدنی و راه‌های آبی در برابر آلودگی، حفظ آب پاک که برای زندگی آبریان، شنا و تفریح ضروری است.

تخلیه فاضلاب تصفیه نشده یا درست تصفیه نشده می‌تواند مشکلات جدی زیست‌محیطی در آب‌های مقصد ایجاد کند. اگر فاضلاب به اندازه کافی تصفیه نشود، حجم زیادی از مواد جامد می‌تواند در کناره‌های رودخانه‌ها جمع شود، به عنوان لجن در کف ته‌نشین شود یا به شکل کف روی سطح آب شناور شود. این مواد جامد و کف‌ها نه تنها ظاهر ناخوشایندی دارند، بلکه باعث کمبود اکسیژن و بوی بد می‌شوند، به خصوص اگر حاوی مواد آلی باشند. در واقع، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با کنترل دقیق، فرآیندهای طبیعی تصفیه را که در رودخانه‌ها اتفاق می‌افتند، تسریع می‌کنند.

تکامل تصفیه فاضلاب و ضرورت عمل

در گذشته، فاضلاب اغلب مستقیم به رودخانه‌ها یا دریاچه‌ها ریخته می‌شد، با این امید که طبیعت خودش آن را تمیز کند. این ایده که "رقیق‌سازی راه حل آلودگی است"، با رشد جمعیت و صنعت، دیگر کارساز نبود و باعث آلودگی شدید آب شد.

امروز، تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی نه تنها یک کار خوب، بلکه یک نیاز اساسی برای حفاظت از کسانی است که در پایین‌دست از آب استفاده می‌کنند. استانداردهای کیفیت آب بر اساس کاربردهای مورد نظر از آب (مثلاً برای شنا، ماهیگیری، کشاورزی یا آشامیدن) تعیین می‌شوند. پس، حذف مواد مضر از فاضلاب قبل از رهاسازی آن برای حفظ این کاربردها حیاتی است.

مفهوم موانع چندگانه

یکی از تغییرات مهم در تصفیه آب و به طور فزاینده در تصفیه فاضلاب، مفهوم موانع چندگانه است. این روش شامل استفاده از چندین مرحله یا مانع پشت سر هم در فرآیند تصفیه است. هر مانع برای حذف یا غیرفعال کردن آلاینده‌ها طراحی شده است. اگر یکی از موانع به درستی کار نکند، موانع بعدی از بروز مشکل جلوگیری می‌کنند و سیستمی قوی‌تر و قابل اطمینان‌تر برای حفاظت از سلامت عمومی و محیط زیست فراهم می‌شود. این یعنی هیچ مرحله تصفیه‌ای بی‌نقص نیست و ترکیب فرآیندهای مختلف، کارایی و ایمنی کلی تصفیه را افزایش می‌دهد.

اهداف تصفیه فاضلاب

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با اهداف مختلفی کار می‌کنند:

- حفاظت از سلامت عمومی با از بین بردن عوامل بیماری‌زا (پاتوژن‌ها) و مواد سمی. در گذشته، تصفیه به کنترل بیماری‌هایی مثل حصبه و وبا کمک می‌کرد.
- حفاظت از منابع آب شرب عمومی در برابر آلودگی ناشی از فاضلاب‌های تصفیه نشده.
- حفاظت از زندگی آبریان در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها با جلوگیری از کمبود اکسیژن، سمیت و بار بیش از حد مواد مغذی.

- حفظ بهترین کاربردهای آب، چه برای تفریح، ماهیگیری، آبیاری یا منبع آب آشامیدنی.
 - حفاظت از زمین‌های اطراف در برابر اثرات تخلیه فاضلاب تصفیه نشده یا دفع لجن.
 - رعایت الزامات مجوزهای تخلیه آلاینده‌های ملی (NPDES) این مجوزها شرایط و محدودیت‌های قانونی برای تخلیه فاضلاب را مشخص می‌کنند.
 - به حداقل رساندن بوها برای جلوگیری از نارضایتی ساکنان اطراف.
 - به حداقل رساندن هزینه‌ها و مصرف انرژی در عین رعایت قوانین بهره‌وری انرژی جنبه مهمی از پایداری در عملیات آب و فاضلاب است.
 - حفظ یک برنامه نگهداری پیشگیرانه موثر برای اطمینان از عملکرد قابل اعتماد.
- با دستیابی به این اهداف، فاضلاب تصفیه شده تأثیر منفی بسیار کمتری بر محیط زیست و سلامت انسان خواهد داشت.

منابع و ویژگی‌های فاضلاب

فاضلاب در واقع آب مصرفی جامعه است که در حین عبور از خانه‌ها، مغازه‌ها و صنایع، مواد محلول و معلق مختلفی را با خود می‌برد.

منابع اصلی فاضلاب عبارتند از:

- **فاضلاب خانگی (بهداشتی):** این فاضلاب از منازل، مناطق تجاری، موسسات و اماکن تفریحی می‌آید. این همان آبی است که از توالت‌ها، سینک‌ها، حمام‌ها و ماشین‌های لباسشویی بیرون می‌آید.
 - **فاضلاب صنعتی:** فاضلاب کارخانه‌ها و صنایع می‌تواند بسته به نوع فرآیند تولید، ترکیب بسیار متفاوتی داشته باشد. این فاضلاب‌ها می‌توانند حاوی مقادیر زیادی مواد آلی، مواد مغذی، فلزات سنگین، مواد شیمیایی سمی (از جمله داروها و محصولات مراقبت شخصی) و گاهی اوقات مواد حرارتی یا رادیواکتیو باشند. صنایع که فاضلاب خود را به سیستم شهری تخلیه می‌کنند، اغلب باید قبل از تخلیه آن را تصفیه کنند تا به فرآیند تصفیه شهری آسیب نرسانند.
 - **رواناب:** آبی است که از باران یا برف روی سطوح جریان می‌یابد و آلاینده‌هایی مانند زباله، رسوب، مواد شیمیایی و عوامل بیماری‌زا را با خود می‌برد.
 - **نفوذ آب زیرزمینی:** آبی است که از منابع زیرزمینی از طریق ترک‌ها یا منافذ وارد سیستم فاضلاب می‌شود.
- برای طراحی، راه‌اندازی و بهینه‌سازی فرآیندهای تصفیه موثر، درک ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی فاضلاب بسیار مهم است.

فاضلاب از چه چیزهایی تشکیل شده است؟

فاضلاب بر اساس مواد مختلفی که در آن وجود دارد، شناخته می‌شود. گرچه نوع و میزان مواد در فاضلاب بسته به منبع آن متفاوت است، اما معمولاً بر اساس ویژگی‌های فاضلاب معمولی خانگی توصیف می‌شود. فاضلاب از نظر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بررسی می‌شود.

ویژگی‌های فیزیکی

این ویژگی‌ها، خواص قابل مشاهده فاضلاب را توصیف می‌کنند:

- **جامدات:** مهمترین ویژگی فیزیکی هستند که در مراحل مختلف تصفیه حذف می‌شوند.

یکی از ویژگی‌های کلیدی، مواد جامد است. به جز گازها، تمام آلاینده‌ها در آب، به تشکیل مواد جامد کمک می‌کنند. جامدات می‌توانند به دو شکل معلق (ذرات کوچک شناور) و محلول (ذرات حل شده در آب) در آب وجود داشته باشند. آنها را می‌توان بر اساس اندازه به چهار دسته تقسیم کرد: معلق، قابل ته‌نشینی، کلوئیدی (ذرات بسیار ریز که نه کاملاً حل شده‌اند و نه کاملاً معلق) و محلول. همچنین، جامدات بر اساس اینکه فرار (آلی) هستند یا غیر فرار (معدنی) دسته‌بندی می‌شوند.

در اینجا به جزئیات بیشتری در مورد نحوه اندازه‌گیری و دسته‌بندی جامدات اشاره شده است:

- **جامدات کل (TS):** این مقدار کل مواد جامدی است که پس از تبخیر کامل آب از یک نمونه فاضلاب باقی می‌ماند.
- **جامدات محلول:** جامداتی که از فیلتر عبور می‌کنند. در فاضلاب، کل جامدات محلول (TDS) معمولاً بین ۲۵۰ تا ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر است. تصفیه معمولی تأثیر کمی بر حذف جامدات معدنی محلول دارد.
- **جامدات معلق (SS):** جامداتی که از فیلتر عبور نمی‌کنند. اینها می‌توانند ته‌نشین‌شونده یا غیر ته‌نشین‌شونده باشند. کل جامدات معلق (TSS) مقدار جامدات قابل فیلتر شدن است TSS. فاضلاب خانگی معمولاً بین ۱۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر است.
- **جامدات قابل ته‌نشینی:** جامداتی که به سرعت توسط نیروی گرانش ته‌نشین می‌شوند. با استفاده از مخروط ایمهوف اندازه‌گیری می‌شوند و برای تعیین کارایی حذف در مخازن ته‌نشینی اولیه استفاده می‌شوند.
- **جامدات معلق فرار (VSS):** جامداتی که در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد از بین می‌روند VSS. تخمینی تقریبی از مواد آلی در بخش جامد می‌دهد MLVSS. (جامدات معلق فرار مایع مخلوط) یک پارامتر کلیدی در لجن فعال است که نشان‌دهنده توده زیستی فعال است.
- **کدورت:** کدر بودن ناشی از ذرات معلق است که نور را پراکنده می‌کنند. این ذرات می‌توانند شامل خاک رس، گل و لای، مواد آلی و میکروارگانیسم‌ها باشند. کدورت در NTU (واحدهای کدورت نفوتمتریک) اندازه‌گیری می‌شود.
- **رنگ:** می‌تواند رنگ واقعی (مواد محلول) یا رنگ ظاهری (جامدات معلق) باشد. منابع آلی و گیاهی می‌توانند بر رنگ تأثیر بگذارند.
- **دما:** بر فعالیت‌های شیمیایی و بیولوژیکی، از جمله میزان اکسیژن محلول، تأثیر می‌گذارد. دماهای بالا می‌توانند کیفیت آب را کاهش دهند. دمای فاضلاب اغلب بر حسب درجه سانتی‌گراد (C°) یا فارنهایت (F°) اندازه‌گیری می‌شود.
- **طعم و بو:** تحت تأثیر مواد محلول و فعالیت‌های بیولوژیکی هستند و اغلب شکایت رایج افراد هستند.

ویژگی‌های شیمیایی

این ویژگی‌ها شامل ترکیب و خواص شیمیایی فاضلاب هستند:

- **نیاز به اکسیژن بیوشیمیایی (BOD):** مقدار اکسیژنی است که میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه مواد آلی در یک زمان مشخص (معمولاً پنج روز در ۲۰ درجه سانتی‌گراد، که به عنوان BOD₅ بیان می‌شود) مصرف می‌کنند. BOD معیاری برای غذای موجود برای باکتری‌ها در تصفیه بیولوژیکی است مرتبط است. حذف BOD در ته‌نشینی اولیه معمولاً ۲۵-۳۵٪ است.
- **نیاز به اکسیژن شیمیایی (COD):** مقدار اکسیژنی است که برای اکسیداسیون شیمیایی مواد آلی و معدنی قابل اکسیداسیون مورد نیاز است. تجزیه و تحلیل COD معمولاً برای بار آلی دقیق‌تر از BOD است. این مقدار کل مواد قابل اکسید شدن، هم قابل تجزیه بیولوژیکی و هم غیر قابل تجزیه بیولوژیکی، را در یک نمونه اندازه‌گیری می‌کند. مقادیر COD معمولاً بالاتر از BOD است زیرا COD شامل مواد آلی است که ممکن است توسط میکروارگانیسم‌ها قابل تجزیه نباشند.
- **اکسیژن محلول (DO):** اکسیژن آزاد محلول در آب است. برای فرآیندهای بیولوژیکی هوازی بسیار مهم است. DO پایین در آب‌های پذیرنده نشان‌دهنده آلودگی است. یک تصفیه‌خانه لجن فعال با عملکرد خوب معمولاً به ۲/۵-۲/۰ میلی‌گرم در لیتر DO نیاز دارد DO را می‌توان با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری DO یا تیتراسیون اندازه‌گیری کرد.
- **هدایت الکتریکی (EC):** این اندازه‌گیری نشان‌دهنده توانایی آب برای هدایت جریان الکتریکی است. این توانایی به غلظت یون‌های معدنی حل شده در آب بستگی دارد.
- **مواد مغذی:** مواد ضروری برای حیات، شامل نیتروژن و فسفر هستند.
 - **نیتروژن:** در اشکال مختلف (آمونیاک، نیترات) یافت می‌شود. نیاز به اکسیژن نیتروژن (NOD) اکسیژن مورد نیاز برای اکسیداسیون ترکیبات نیتروژن است. حذف نیتروژن یک هدف مهم است.
 - **فسفر:** با اصطلاحاتی مانند ارتو فسفات توصیف می‌شود که شکل واکنش‌پذیری است که مستقیماً توسط باکتری‌ها استفاده می‌شود. ارتو فسفات تنها شکلی است که مستقیماً در آزمایشگاه قابل آزمایش است. اندازه‌گیری فسفر شامل ارتو فسفات و اشکال هیدرولیز شده با اسید است. نیتروژن و فسفر اضافی به پدیده اوتروفیکاسیون (رشد بیش از حد جلبک‌ها) کمک می‌کنند.
- **pH:** اسیدیته یا قلیائیت را اندازه‌گیری می‌کند. بر واکنش‌های شیمیایی و فعالیت بیولوژیکی تأثیر می‌گذارد. pH فاضلاب به طور کلی باید بین ۶/۰ تا ۸/۵ باشد تا از آب‌های پذیرنده محافظت شود. قلیائیت ظرفیت آب یا فاضلاب برای خنثی کردن اسیدها است که معمولاً به دلیل بی کربنات‌ها و نمک‌های اسیدهای ضعیف است. با تیتراسیون اندازه‌گیری می‌شود.
- **مواد سمی:** برای موجودات زنده یا میکروارگانیسم‌ها سمی هستند. می‌توانند فرآیندهای تصفیه را مختل کرده و باعث نقض مجوز شوند. پایش آنها ضروری است. نمونه‌ها شامل سیانید هستند. فاضلاب‌های صنعتی سمی می‌توانند باعث شوند که تصفیه‌خانه‌ها الزامات NPDES را نقض کنند.
- **سختی:** ناشی از یون‌های کلسیم و منیزیم است. می‌تواند باعث رسوب شود. با روش‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود. این عمدتاً به دلیل وجود ترکیبات کلسیم و منیزیم ایجاد می‌شود. به عنوان مقدار معادل کربنات کلسیم

بیان می‌شود. آب بر اساس میزان سختی آن طبقه‌بندی می‌شود، به عنوان مثال، نرم (۰ تا ۷۵ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم) یا با سختی متوسط (۷۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم).

- **قلیائیت:** ظرفیت آب یا فاضلاب برای خنثی کردن اسیدها. که با روش تیتراسیون اندازه‌گیری می‌شود. معمولاً بر حسب قلیائیت بیکربنات، کربنات و هیدروکسید بیان می‌شود. قلیائیت حیاتی است زیرا به حفظ pH خنثی در فاضلاب در طول فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی کمک می‌کند. همچنین می‌توان آن را به عنوان توانایی آب برای پذیرش پروتون‌ها تعریف کرد.

ویژگی‌ها و فرآیندهای بیولوژیکی

فاضلاب پر از میکروارگانیسم‌ها است، هم مفید و هم مضر:

- **میکروارگانیسم‌ها:** شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها، پروتوزوا، قارچ‌ها، جلبک‌ها و کرم‌ها هستند. باکتری‌ها تک‌سلولی هستند و برای تجزیه مواد آلی در تصفیه حیاتی‌اند. پروتوزوا ارگانیسم‌های تک‌سلولی بزرگ‌ترند. ویروس‌ها کوچکترین عوامل بیماری‌زا هستند. قارچ‌ها هوازی‌های چندسلولی‌اند. جلبک‌ها گیاهانی حاوی کلروفیل هستند که فتوسنتز انجام می‌دهند.
- **پاتوژن‌ها (عوامل بیماری‌زا):** ارگانیسم‌های بیماری‌زا (باکتری‌ها، ویروس‌ها، کیست‌ها، پروتوزوا) هستند. باکتری‌های بیماری‌زا اغلب از دستگاه گوارش انسان منشأ می‌گیرند. نمونه‌های نگران‌کننده شامل ژیا‌ردیا لامبلیا و کریپتوسپوریديوم (پروتوزوا)، پولیوویروس و باکتری‌های بیماری‌زا مانند ای.کولای هستند. فاضلاب عمدتاً مسیر انتقال این عوامل است، نه محیطی برای رشد آنها. هدف از ضدعفونی، کشتن یا غیرفعال کردن پاتوژن‌ها است.
- **فرآیندهای بیولوژیکی:** تصفیه به میکروارگانیسم‌ها برای تثبیت زباله‌های آلی متکی است. فرآیندهای کلیدی عبارتند از:

- **هوازی:** نیاز به اکسیژن آزاد دارد. در لجن فعال و صافی‌های چکنده استفاده می‌شود.
- **بی‌هوازی:** در غیاب اکسیژن رخ می‌دهد. در هضم‌کننده‌ها و برخی حوضچه‌ها استفاده می‌شود.
- **آنوکسیک:** در غیاب اکسیژن آزاد اما در حضور اکسیژن متصل شیمیایی مانند نیتрат رخ می‌دهد. برای نیترات‌زدایی (حذف نیتروژن) استفاده می‌شود.
- **اختیاری:** ارگانیسم‌هایی که می‌توانند هم در شرایط هوازی و هم بی‌هوازی زندگی کنند. در حوضچه‌های اختیاری یافت می‌شوند.

درک این ویژگی‌ها برای انتخاب فناوری‌های تصفیه مناسب و بهره‌برداری موثر از آنها ضروری است.

تأثیر زیست‌محیطی تخلیه‌های تصفیه نشده

تخلیه فاضلاب تصفیه نشده یا ضعیف تصفیه شده تأثیرات منفی عمیقی بر آب‌ها و اکوسیستم‌های آنها دارد.

- **کاهش اکسیژن:** فاضلاب تصفیه نشده حاوی مقدار زیادی مواد آلی است. وقتی میکروارگانیسم‌ها این مواد را تجزیه می‌کنند، اکسیژن محلول را مصرف می‌کنند. اگر بار آلی خیلی زیاد باشد، سرعت مصرف اکسیژن از سرعت جایگزینی آن (از هوا یا جلبک‌ها) بیشتر می‌شود. این باعث کاهش سطح اکسیژن محلول در آب می‌شود، گاهی اوقات تا صفر. آب‌هایی که اکسیژن محلول خیلی کم یا بدون اکسیژن دارند، "سپتیک" نامیده می‌شوند. شرایط سپتیک باعث بوهای نامطبوع می‌شود و برای بیشتر موجودات آبی، از جمله ماهی‌ها، کشنده است، زیرا آنها برای زنده ماندن به اکسیژن محلول نیاز دارند.

- **غنی‌سازی مواد مغذی (اوتریفیکاسیون):** فاضلاب اغلب حاوی سطوح بالایی از مواد مغذی، به ویژه نیتروژن و فسفر است. تخلیه بیش از حد مواد مغذی می‌تواند منجر به اوتریفیکاسیون شود که با رشد سریع و بیش از حد جلبک‌ها و گیاهان آبی (شکوفایی جلبکی) مشخص می‌شود. در حالی که جلبک‌ها در طول روز از طریق فتوسنتز اکسیژن تولید می‌کنند، وقتی می‌میرند، تجزیه آنها توسط باکتری‌ها مقادیر زیادی اکسیژن را مصرف می‌کند و بیشتر به کاهش اکسیژن و شرایط سپتیک کمک می‌کند.

- **سمیت:** فاضلاب صنعتی و حتی خانگی می‌تواند حاوی مواد سمی برای موجودات آبی باشد که شبکه‌های غذایی و عملکرد اکوسیستم را مختل می‌کند.

- **ورود عوامل بیماری‌زا:** فاضلاب تصفیه نشده منبع مهمی از میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا است و خطراتی را برای انسان و حیواناتی که از آب برای آشامیدن، تفریح یا سایر اهداف استفاده می‌کنند، ایجاد می‌کند.

این مسائل نشان می‌دهد که درک چرخه‌های طبیعی، مانند چرخه آب، چرخه مواد مغذی، و به ویژه چرخه‌های فسفر و نیتروژن چقدر مهم است. فرایندهای تصفیه فاضلاب با این چرخه‌ها تعامل دارند و مختل کردن آنها در آب‌های پذیرنده می‌تواند به اکوسیستم آسیب برساند.

مراحل تصفیه فاضلاب

تصفیه فاضلاب یک فرآیند واحد نیست، بلکه مجموعه‌ای از مراحل مجزا است که به آنها واحدهای فرآیندی می‌گویند و به هم متصل شده‌اند تا یک خط تصفیه را تشکیل دهند. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برای رسیدن به اهداف متعددی طراحی شده‌اند. مراحل اصلی یا دسته‌بندی‌های تصفیه معمولاً شامل تصفیه مقدماتی، تصفیه اولیه، تصفیه ثانویه، تصفیه پیشرفته، ضد عفونی و تصفیه لجن است. همه تصفیه‌خانه‌ها شامل تمام این مراحل نیستند؛ تعداد مراحل خاصی که در یک تصفیه‌خانه وجود دارد، به کیفیت آب تصفیه شده (پساب) مورد نیاز و مصارف آب‌های طبیعی که پساب به آن می‌ریزد، بستگی دارد.

یک شماتیک رایج از فرآیند تصفیه فاضلاب شامل تصفیه مقدماتی، تصفیه اولیه (معمولاً ته‌نشینی)، تصفیه ثانویه (اغلب یک فرآیند بیولوژیکی مانند لجن فعال) و ضد عفونی است.

در اینجا نگاهی دقیق‌تر به مراحل اصلی تصفیه آورده شده است:

- **تصفیه مقدماتی:** این اولین مرحله تصفیه است و هدف اصلی آن محافظت از تجهیزات تصفیه‌خانه است. در این مرحله، موادی که می‌توانند به ماشین‌آلات آسیب برسانند یا فضای با ارزش واحدهای تصفیه پایین‌دست را اشغال کنند، حذف می‌شوند. فرآیندهای این مرحله می‌تواند شامل پمپاژ فاضلاب ورودی، غربالگری برای حذف آشغال‌های بزرگ، خرد کردن مواد جامد بزرگ، حذف شن و ماسه، اندازه‌گیری سرعت جریان، هوادهی اولیه، افزودن مواد شیمیایی و تنظیم سرعت جریان باشد. غربالگری به طور خاص مواد جامد بزرگی مانند پارچه‌ها، چوب‌ها و سنگ‌ها را جدا و حذف می‌کند. حذف شن و ماسه بر روی مواد سنگین‌تر و غیرآلی مانند ماسه و شن تمرکز دارد. خرد کردن شامل بریدن مواد جامد بزرگ‌تر به ذرات کوچک‌تر و قابل مدیریت‌تر است.

- **تصفیه اولیه:** این مرحله معمولاً از ته‌نشینی برای حذف جامداتی که به اندازه کافی سنگین هستند تا ته‌نشین شوند و موادی که به اندازه کافی سبک هستند تا شناور شوند، استفاده می‌کند. فاضلاب وارد مخزنی به نام مخزن ته‌نشینی، زلال‌ساز یا حوضچه ته‌نشینی می‌شود. در این مخزن، سرعت جریان آب به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و به جامدات سنگین‌تر اجازه می‌دهد تا به کف فرو روند و لجن را تشکیل دهند، و مواد سبک‌تر مانند چربی و روغن روی سطح شناور شوند و کف را تشکیل دهند. تصفیه اولیه در کاهش بار آلی بر روی فرآیندهای بعدی و حذف مقدار قابل توجهی از مواد قابل ته‌نشینی، معلق و شناور مؤثر است. ته‌نشینی اولیه معمولاً ۹۰-۹۵٪ از جامدات قابل ته‌نشینی، ۴۰-۶۰٪ از TSS و ۲۵-۳۵٪ از BOD را حذف می‌کند.

- **تصفیه ثانویه:** که به آن تصفیه بیولوژیکی نیز گفته می‌شود، هدف اصلی این مرحله، حذف بیشتر اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز (BOD)، فراتر از آنچه در تصفیه اولیه انجام شده است، است. این فرآیند به

میکروارگانسیم‌ها متکی است تا مواد آلی محلول و کلونیدی معلق را تجزیه کنند. میکروارگانسیم‌ها این مواد آلی پیچیده را به ترکیبات پایدارتر و کم‌انرژی‌تر تبدیل کرده و میکروارگانسیم‌های بیشتری تولید می‌کنند. روش‌های رایج برای تصفیه ثانویه شامل صافی‌های چکنده، لجن فعال و برکه‌های اکسیداسیون (لاگون‌ها) هستند. این فرآیندهای بیولوژیکی اغلب با یک مخزن ته‌نشینی ثانویه (زالاساز) دنبال می‌شوند تا جامدات بیولوژیکی (زیست‌توده) تولید شده را حذف کنند.

- صافی‌های چکنده: در این سیستم، فاضلاب روی بستری از مواد (مانند سنگ یا پلاستیک) که با لایه‌ای از مخاط بیولوژیکی (بیوفیلم) پوشیده شده است، پخش یا "چکیده" می‌شود. این لایه مخاطی یا زیست‌توده، شامل میکروارگانسیم‌هایی است که مواد آلی را هنگام عبور آب از روی آنها جذب و مصرف می‌کنند.

- لجن فعال: این یک فرآیند پرکاربرد است که در آن فاضلاب در یک مخزن هوادهی با جمعیتی از میکروارگانسیم‌های معلق، که به آن لجن فعال می‌گویند، مخلوط می‌شود. هوا یا اکسیژن به مخزن وارد می‌شود تا میکروارگانسیم‌ها فعال بمانند و مواد آلی موجود در فاضلاب را متابولیزه کنند. میکروارگانسیم‌ها به هم می‌چسبند (لخته می‌شوند) و سپس در یک زالاساز نهایی از آب تصفیه شده جدا می‌شوند. بخشی از این میکروارگانسیم‌های ته‌نشین شده برای ادامه فرآیند بیولوژیکی به مخزن هوادهی بازگردانده می‌شود (لجن فعال بازگشتی، RAS)، در حالی که مازاد آن برای تصفیه بیشتر یا دفع حذف می‌شود (لجن فعال زائد، WAS).

- برکه‌های اکسیداسیون (لاگون‌ها): اینها حوضچه‌های کم‌عمق هستند که در آنها تصفیه فاضلاب عمدتاً از طریق فرآیندهای طبیعی شامل باکتری‌ها، جلبک‌ها و ته‌نشینی فیزیکی انجام می‌شود. آنها می‌توانند به عنوان یک روش تصفیه کامل به تنهایی یا در ترکیب با سایر فرآیندهای تصفیه استفاده شوند.

- ضد عفونی: هدف این مرحله نهایی، حذف یا کاهش چشمگیر تعداد میکروارگانسیم‌ها در فاضلاب تصفیه شده قبل از تخلیه آن است. هدف کشتن یا غیرفعال کردن بیشتر میکروارگانسیم‌ها، از جمله تقریباً تمام باکتری‌های بیماری‌زا، برای جلوگیری از گسترش بیماری است. کلرزنی رایج‌ترین روش مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است. روش‌های دیگر ضد عفونی شامل اشعه فرابنفش (UV) و ازن‌زنی هستند. ضد عفونی درست قبل از تخلیه جریان تصفیه شده به آب‌های مقصد انجام می‌شود.

- کلرزنی: اضافه کردن کلر (گاز، مایع یا هیپوکلریت) به فاضلاب تصفیه شده.

- نور فرابنفش (UV): قرار دادن فاضلاب در معرض اشعه UV که DNA میکروارگانسیم‌ها را مختل می‌کند و از تولید مثل آنها جلوگیری می‌کند.

- ازن‌زنی: استفاده از ازن (O_3)، یک اکسیدکننده قوی، برای غیرفعال کردن پاتوژن‌ها.

نقش اپراتور تصفیه‌خانه

اپراتور تصفیه‌خانه در تأسیسات تصفیه آب و فاضلاب جایگاه بسیار مهمی دارد. مسئولیت اصلی او این است که اطمینان حاصل کند آب به استانداردهایی که سازمان‌های نظارتی تعیین کرده‌اند و انتظارات عمومی را برآورده می‌کند یا از آنها فراتر می‌رود، تصفیه شده است. در تصفیه فاضلاب، وظیفه اصلی اپراتور این است که تصفیه‌خانه را همیشه فعال نگه دارد و فاضلاب را تا حد کافی تمیز کند تا بتوان آن را با خیال راحت به محیط زیست بازگرداند یا فوراً دوباره از آن استفاده کرد.

اپراتورها متخصصان عملی هستند که واحدهای فرآیندی و تجهیزات را کنترل می‌کنند؛ این تجهیزات به طور خاص برای حذف یا از بین بردن مواد مضر، ترکیبات شیمیایی و میکروارگانسیم‌ها از فاضلاب طراحی شده‌اند. آنها پمپ‌ها، شیرها و

انواع تجهیزات پردازشی، که به طور فزاینده‌ای شامل سیستم‌های کامپیوتری می‌شود، را برای جابجایی فاضلاب در مراحل مختلف تصفیه به کار می‌اندازند. بخش حیاتی شغل آنها همچنین مدیریت دفع یا استفاده مجدد از جامدات حذف شده (که به آنها لجن یا بایوسالید می‌گویند) است. اپراتورها وظایف نظارت و تحلیل را نیز انجام می‌دهند، از جمله خواندن و تفسیر اندازه‌گیرها و فشارسنج‌ها، کار با تجهیزات تزریق مواد شیمیایی، نمونه‌برداری، انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی و تنظیم دوز مواد شیمیایی در صورت نیاز. آنها همچنین از ابزار برای اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت آب و ابزار برای انجام تعمیرات جزئی تجهیزات استفاده می‌کنند.

فرصت‌های شغلی برای اپراتورهای آب و فاضلاب عمدتاً در نهادهای دولتی محلی و در شرکت‌های خصوصی که خدمات تأمین آب و بهداشتی را ارائه می‌دهند، یافت می‌شود. اپراتورها در طیف گسترده‌ای از تصفیه‌خانه‌ها کار می‌کنند که در همه جوامع، از مناطق کوهستانی تا مناطق ساحلی، قرار دارند. تعداد پرسنل مورد نیاز در یک تصفیه‌خانه بسته به اندازه و نوع فرآیندهای تصفیه مورد استفاده، تفاوت زیادی دارد. در تصفیه‌خانه‌های کوچک‌تر، ممکن است یک اپراتور مسئول همه وظایف باشد و عملاً "همه کاره" باشد. در مقابل، تصفیه‌خانه‌های بزرگ‌تر ممکن است اپراتورهایی داشته باشند که در نظارت و کنترل واحدهای فرآیندی خاصی تخصص دارند.

رفاه عمومی به طور مستقیم به صلاحیت و قابل اعتماد بودن اپراتور وابسته است. بنابراین، توانایی اپراتور در بهره‌برداری و نگهداری کارآمد و ایمن از تأسیسات خود از اهمیت بالایی برخوردار است.

مقدمه‌ای بر ایمنی

ایمنی یک جنبه بسیار مهم در عملیات تصفیه فاضلاب است. همه افرادی که در یک تصفیه‌خانه کار می‌کنند باید دائماً مراقب نکات ایمنی باشند. اپراتورها به طور منظم با موقعیت‌ها و تجهیزاتی روبرو می‌شوند که اگر اقدامات احتیاطی مناسب انجام نشود، می‌توانند باعث آسیب جدی یا بیماری شوند. متأسفانه، صنعت تصفیه فاضلاب در مقایسه با بسیاری از صنایع دیگر، یکی از بدترین سوابق ایمنی را دارد. یک عامل مهم که به نرخ بالای صدمات شغلی کمک می‌کند، نبود برنامه‌های ایمنی خوب مدیریت شده و روش‌های کاری ایمن است. اپراتورها باید به شدت از خطرات ایمنی موجود در تصفیه‌خانه‌ها و اطراف آنها آگاه باشند. آنها باید فعالانه در یک برنامه ایمنی رسمی شرکت کنند. رویه‌های عملیاتی ایمن همیشه در مواد آموزشی مورد تأکید قرار می‌گیرند. علاوه بر این، اپراتورها باید در مورد بهداشت شخصی خود نهایت دقت را به خرج دهند تا از احتمال انتشار بیماری به خود و خانواده‌هایشان جلوگیری کنند.

فصل دوم

بهره برداری و نگهداری از واحدهای تصفیه اولیه فاضلاب

www.daneshemohit.ir

مقدمه: جایگاه حیاتی تصفیه اولیه در مدیریت فاضلاب

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، تصفیه اولیه مرحله‌ای کلیدی است که دقیقاً پس از تصفیه مقدماتی قرار می‌گیرد. تصفیه مقدماتی شامل عملیات فیزیکی درشتی مانند آشغال‌گیری (با استفاده از آشغال‌گیرهای میله‌ای برای حذف مواد بزرگ مانند شاخ و برگ، پارچه، پلاستیک و کاغذ) و حذف شن و ماسه (از طریق کانال‌های شن‌گیر برای جدا کردن ذرات سنگین غیرآلی) است. هدف از این مراحل اولیه، حفاظت از تجهیزات حساس در مراحل بعدی تصفیه، مانند پمپ‌ها و شیرآلات، در برابر آسیب‌های ناشی از مواد جامد بزرگ و ساییده است.

تصفیه اولیه با تمرکز بر حذف ذرات قابل ته‌نشینی و شناور، نه تنها بار آلی ورودی به مراحل بعدی (به ویژه تصفیه ثانویه بیولوژیکی) را به شدت کاهش می‌دهد، بلکه نقش بسزایی در جلوگیری از آلودگی آب‌های پذیرنده ایفا می‌کند. ورود مستقیم فاضلاب تصفیه نشده به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها یا دریاها می‌تواند منجر به مشکلات زیست‌محیطی جدی مانند رسوب لجن در کف، کاهش اکسیژن محلول در آب (که برای حیات آبریان حیاتی است) و تشکیل لایه‌های نامطلوب کفاب شود.

هدف تصفیه اولیه: بهبود کارایی و حفاظت از محیط زیست

هدف تصفیه اولیه فراتر از صرفاً جداسازی فیزیکی جامدات است؛ این مرحله یک جزء استراتژیک برای بهینه‌سازی کلی فرایند تصفیه فاضلاب است. با حذف بخش قابل توجهی از مواد آلی قابل ته‌نشینی، بار آلی (BOD) ورودی به واحدهای تصفیه ثانویه به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد. این کاهش بار، منجر به کاهش مصرف انرژی (هوا دهی) در تانک‌های هوا دهی، کاهش حجم لجن مازاد تولیدی و در نتیجه کاهش هزینه‌های عملیاتی تصفیه‌خانه می‌شود.

از دیدگاه زیست‌محیطی، جلوگیری از تجمع لجن و کفاب در آب‌های پذیرنده یک ضرورت حیاتی است. لجن ته‌نشین شده در بستر آب می‌تواند منجر به شرایط بی‌هوازی شود که بوی نامطبوع (مانند بوی سولفید هیدروژن) تولید می‌کند و به حیات آبریان آسیب می‌رساند. کفاب نیز علاوه بر جلوه ناخوشایند، می‌تواند مانع از انتقال اکسیژن از هوا به آب شده و به مشکلات اکسیژن‌زدایی کمک کند.

آمار کارایی تصفیه اولیه (حذف ۹۰٪-۹۵٪ از جامدات قابل ته‌نشینی، ۴۰٪-۶۰٪ از کل جامدات معلق (TSS) و ۲۵٪-۳۵٪ از تقاضای بیوشیمیایی اکسیژن (BOD)) نشان‌دهنده اثربخشی بالای این مرحله در کاهش آلاینده‌های اصلی و آماده‌سازی فاضلاب برای مراحل تصفیه پیشرفته‌تر است.

تانک‌های ته‌نشینی (زال‌سازها): قلب تپنده تصفیه اولیه

تانک‌های ته‌نشینی که غالباً به آن‌ها زال‌ساز اولیه یا حوضچه‌های ته‌نشینی گفته می‌شود، واحدهای اصلی در تصفیه اولیه هستند. طراحی این تانک‌ها بر اساس اصول گرانث و زمان ماند کافی استوار است. با ورود فاضلاب به این حوضچه‌های بزرگ، سرعت جریان به شدت کاهش می‌یابد (معمولاً به حدود ۱ فوت در دقیقه). این کاهش سرعت باعث می‌شود ذرات سنگین‌تر از آب فرصت کافی برای ته‌نشینی به سمت کف را پیدا کنند، در حالی که ذرات سبک‌تر مانند روغن‌ها و چربی‌ها به دلیل نیروی شناوری به سمت سطح بالا می‌آیند.

شرح و انواع: تنوع در طراحی برای نیازهای متفاوت

پس از ته نشینی و شناورسازی، لجن جمع شده در کف توسط سیستم‌های پارویی (اسکراپر) به سمت قیف‌های جمع‌آوری لجن در مرکز یا کنار مخزن هدایت و سپس از سیستم خارج می‌شود. کفاب نیز توسط سیستم‌های مکنده (اسکیمر) یا سرریزهای مخصوص از سطح جمع‌آوری و دفع می‌گردد. فاضلاب زلال‌شده از طریق سرریزهای خروجی (معمولاً به صورت دندانه‌دار برای کنترل جریان و جلوگیری از خروج ذرات شناور) از مخزن خارج می‌شود.

راندمان فرایند ته‌نشینی تحت تأثیر عوامل متعددی است:

- زمان ماند هیدرولیکی (HRT): مدت زمانی که فاضلاب به صورت نظری در مخزن می‌ماند. زمان ماند ناکافی می‌تواند منجر به خروج ذرات ته‌نشین نشده شود.
- دما: دما بر ویسکوزیته آب و سرعت ته‌نشینی ذرات تأثیر می‌گذارد. آب سردتر دارای ویسکوزیته بالاتری است که سرعت ته‌نشینی را کندتر می‌کند.
- طراحی مخزن: شکل (مستطیلی یا دایره‌ای)، نسبت ابعاد، عمق، و شیب کف مخزن همگی در کارایی ته‌نشینی مؤثرند.
- نوع و غلظت جامدات: ذرات با اندازه و چگالی متفاوت، رفتار ته‌نشینی مختلفی دارند.

انواع اصلی تانک‌های ته‌نشینی بر اساس کاربرد و طراحی عبارتند از:

- **زال‌سازهای ساده (Plain Settling Tanks/Clarifiers):** این رایج‌ترین نوع زال‌سازها هستند که برای جداسازی مواد جامد و مایع در تصفیه اولیه، ثانویه و حتی پیشرفته فاضلاب استفاده می‌شوند.
- **سپتیک تانک‌ها (Septic Tanks):** این تانک‌ها معمولاً برای سیستم‌های فاضلاب کوچک خانگی یا روستایی کاربرد دارند. آن‌ها ته‌نشینی، جداسازی کفاب و هضم بی‌هوازی لجن را در یک محفظه انجام می‌دهند. با این حال، به دلیل عدم جداسازی فیزیکی لجن از جریان فاضلاب، ممکن است باعث برگشت مواد آلی و گازها به جریان خروجی شوند و نیاز به تخلیه دوره‌ای لجن دارند.
- **تانک‌های ایمهوف (Imhoff Tanks):** این تانک‌های دو طبقه، یک راه حل نوآورانه برای تصفیه اولیه و هضم لجن در یک واحد هستند. در طبقه بالایی، فاضلاب ته‌نشین می‌شود و لجن ته‌نشین شده به طبقه پایینی که یک محفظه بی‌هوازی برای هضم لجن است، منتقل می‌شود. این جداسازی فیزیکی از تماس لجن در حال هضم با فاضلاب ورودی جلوگیری کرده و مشکلات بو و کیفیت پساب را کاهش می‌دهد.
- **واحدهای ترکیبی ته‌نشینی-هضم:** این واحدها نسخه‌های کوچک‌تری از تانک‌های ایمهوف هستند که برای جمعیت‌های کمتر طراحی شده‌اند و یک زال‌ساز کوچک بر روی یک هضم‌کننده لجن قرار گرفته است.

رویه‌های عملیاتی: از راه‌اندازی تا خاموشی برای عملکرد بهینه

عملکرد ایمن و کارآمد زال‌سازها به رعایت دقیق رویه‌های عملیاتی استاندارد بستگی دارد:

- **راه‌اندازی (Start-up):** قبل از ورود فاضلاب، تمام اجزای مکانیکی (مانند موتورها، گیربکس‌ها، یاتاقان‌ها و آب‌بندها) باید بازرسی و روغن‌کاری شوند. اطمینان از قرارگیری صحیح پاروها و اسکیمرها و بررسی مسیرهای جریان ضروری است. ورود تدریجی فاضلاب به مخزن برای جلوگیری از هرگونه شوک هیدرولیکی یا اختلال در الگوی جریان توصیه می‌شود.
- **بهره‌برداری عادی (Normal Operation):** نظارت مستمر بر پارامترهایی مانند توزیع یکنواخت جریان ورودی (برای جلوگیری از "جریان‌های کوتاه" یا short-circuiting که در آن فاضلاب به سرعت از مخزن عبور می‌کند بدون ته‌نشینی کافی)، کارایی حذف کفاب و لجن، و کیفیت پساب خروجی حیاتی است. بررسی‌های بصری منظم و ثبت داده‌ها برای تشخیص به موقع هرگونه ناهنجاری ضروری است.
- **خاموش کردن (Shutdown Procedures):** رویه‌های کنترل شده برای خاموش کردن واحد (مثلاً برای تعمیر و نگهداری) شامل قطع جریان ورودی، تخلیه لجن و کفاب باقی‌مانده و تمیز کردن مخزن می‌شود.

نگهداری و تعمیرات: رمز پایداری و طول عمر سیستم

نگهداری منظم و پیشگیرانه، ستون فقرات عملکرد طولانی مدت و کارآمد زلال سازهاست:

- **روغن کاری:** تمامی قطعات متحرک مانند گیربکس ها، زنجیرها، چرخ دنده ها و یاتاقان های مکانیزم های جمع آوری لجن و کفاب باید طبق برنامه روغن کاری شوند.
- **بازرسی دوره ای:** بازرسی بصری منظم برای تشخیص خوردگی، ساییدگی، شکستگی قطعات، و گرفتگی در خطوط لجن و کفاب ضروری است.
- **حفظ تمیزی:** سطوح داخلی مخزن و به خصوص سرریزهای خروجی باید به طور منظم تمیز شوند تا از رشد جلبک و بیوفیل ها که می توانند راندمان را کاهش دهند، جلوگیری شود.
- **پمپ های لجن و کفاب:** این پمپ ها باید به طور منظم بررسی و نگهداری شوند تا از عملکرد صحیح آنها در حذف مواد جمع آوری شده اطمینان حاصل شود.

عیب یابی: مهارت حل مسئله برای اپراتورهای فاضلاب

عیب یابی مؤثر، نیازمند درک عمیق از فرایند و توانایی اپراتور در تشخیص علل ریشه ای مشکلات است:

- **حذف ضعیف جامدات معلق:**
 - اضافه بار هیدرولیکی: ورود فاضلاب بیش از ظرفیت طراحی مخزن، زمان ماند را کاهش داده و ذرات فرصت ته نشینی را از دست می دهند.
 - انباشتگی لجن: اگر لجن به طور منظم و کافی حذف نشود، حجم مؤثر مخزن کاهش یافته و کیفیت پساب افت می کند.
 - جریان های نامطلوب: جریان های برگشتی از واحدهای دیگر یا طراحی نادرست ورودی می تواند باعث اختلال در الگوی جریان آرام مورد نیاز برای ته نشینی شود.
 - تغییرات دمایی یا صنعتی: ورود فاضلاب با دماهای بسیار متفاوت یا فاضلاب های صنعتی با ویژگی های خاص (مانند غلظت بالای مواد کلوئیدی یا مواد شیمیایی) می تواند بر ته نشینی تأثیر بگذارد.
- **لجن شناور (Rising Sludge):**
 - لجن سپتیک (Septic Sludge): اگر لجن برای مدت طولانی در مخزن بماند و بی هوازی شود، تولید گازهایی مانند متان و نیتروژن می کند که باعث شناور شدن توده های لجن می شوند.
 - مشکلات مکانیکی: خرابی پاره ها، اسکیمرها یا پمپ های لجن می تواند منجر به تجمع لجن و سپس شناور شدن آن شود.
 - بازگشت لجن نیترات زدایی شده: در برخی سیستم ها، بازگشت لجن از واحدهای تصفیه بیولوژیکی که فرایند نیترات زدایی (denitrification) را انجام داده اند، می تواند باعث شناور شدن لجن به دلیل تولید حباب های نیتروژن شود.

محاسبات کنترل فرایند: ابزاری برای پیش و بهینه سازی عملکرد

محاسبات منظم از داده های عملیاتی، ابزاری ضروری برای ارزیابی کارایی زلال ساز و تصمیم گیری آگاهانه برای تنظیمات فرایندی است:

- **نرخ بارگذاری سطحی (Surface Loading Rate - SLR) یا نرخ سرریز سطحی (Surface Overflow Rate - SOR):**
 - تعریف: حجم فاضلاب ورودی در واحد زمان تقسیم بر مساحت سطح مخزن.
 - کاربرد: نشان دهنده بار هیدرولیکی روی زلال ساز. نرخ بالا می تواند منجر به خروج ذرات همراه با پساب شود.
 - واحد رایج: گالن در روز بر فوت مربع (gpd/ft^2).
 - محدوده معمولی برای زلال ساز اولیه: ۶۰۰-۱,۲۰۰ (gpd/ft^2).
- **نرخ سرریز سرریز (Weir Overflow Rate - WOR) یا نرخ بارگذاری سرریز (Weir Loading Rate):**
 - تعریف: حجم فاضلاب ورودی در واحد زمان تقسیم بر طول کل سرریز خروجی.

- کاربرد: نشان‌دهنده بار هیدرولیکی روی سرریزها. نرخ بالا می‌تواند باعث "کشیدن" ذرات معلق کوچک از روی سرریز شود.
- واحد رایج: گالن در روز بر فوت (ft/gpd).
- محدوده معمولی برای زلال‌ساز اولیه: ۱۰,۰۰۰-۲۰,۰۰۰ ft/gpd.
- **نرخ بارگذاری جامدات (Solids Loading Rate - SLR):**
- تعریف: جرم جامدات (پوند) اعمال شده در روز بر هر واحد مساحت سطح مخزن.
- کاربرد: عمدتاً برای ارزیابی زلال‌سازهای ثانویه و غلیظ‌کننده‌های لجن استفاده می‌شود.
- واحد رایج: پوند در روز بر فوت مربع (lbs/day/ft²).
- **درصد حذف (Percent Removal):**
- تعریف: نشان‌دهنده کارایی یک واحد یا کل تصفیه‌خانه در حذف یک آلاینده خاص.
- کاربرد: برای زلال‌سازهای اولیه، معمولاً برای جامدات قابل ته‌نشینی، کل جامدات معلق (TSS) و تقاضای بیوشیمیایی اکسیژن (BOD) محاسبه می‌شود.
- فرمول: $\text{Removal Percent} = \frac{\text{Concentration}_{\text{out}} - \text{Concentration}_{\text{in}}}{\text{Concentration}_{\text{in}}} \times 100$
- **زمان ماند هیدرولیکی (Hydraulic Retention Time - HRT):**
- تعریف: زمان نظری که آب یا فاضلاب در مخزن می‌ماند.
- کاربرد: نشان‌دهنده فرصت ته‌نشینی.
- فرمول: $\text{Volume} = \text{Rate} \times \text{Tank Flow} = \text{HRT}$
- محدوده معمولی برای زلال‌ساز اولیه: ۱-۳ ساعت.

شناورسازی: راه حلی برای مواد سبک و دشوار برای ته‌نشینی

در حالی که ته‌نشینی بر جداسازی ذرات سنگین‌تر متکی است، شناورسازی برای حذف مواد سبک‌تر که به راحتی ته‌نشین نمی‌شوند، مانند گریس، روغن‌ها، چربی‌ها و برخی کلونیدها و امولسیون‌ها، طراحی شده است. این فرایند با افزایش نیروی شناوری ذرات، آن‌ها را به سطح می‌آورد تا به راحتی از جریان مایع جدا شوند.

یکی از مؤثرترین روش‌های شناورسازی، شناورسازی با هوای محلول (Dissolved Air Flotation - DAF) است.

مکانیزم DAF به این صورت عمل می‌کند:

۱. اشباع‌سازی تحت فشار: بخشی از جریان فاضلاب (معمولاً ۱۰ تا ۵۰ درصد کل جریان ورودی یا یک جریان برگشتی تصفیه شده) تحت فشار بالا (حدود ۴ تا ۷ اتمسفر) قرار می‌گیرد و هوا به آن تزریق می‌شود. در این شرایط، حلالیت گازها (عمدتاً نیتروژن و اکسیژن هوا) در آب به شدت افزایش می‌یابد و هوا به صورت محلول در می‌آید.
۲. رهاسازی فشار: جریان آب اشباع شده از هوا، از طریق یک شیر رهاسازی فشار (شیر سوزنی یا کنترل‌کننده) به مخزن شناورسازی DAF وارد می‌شود. در این نقطه، فشار به سرعت به فشار اتمسفر کاهش می‌یابد.
۳. تشکیل حباب‌های ریز: با کاهش ناگهانی فشار، حلالیت گازها به شدت افت می‌کند و هوای مازاد به صورت میلیون‌ها حباب بسیار ریز (قطر ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون) از محلول خارج می‌شود. این حباب‌ها به صورت انبوه تشکیل می‌شوند و ظاهری شیری رنگ به آب می‌دهند.
۴. چسبیدن حباب‌ها به ذرات: این حباب‌های ریز به ذرات معلق، روغن‌ها، گریس‌ها و کلونیدها می‌چسبند. ماهیت آبگریز سطح حباب‌ها و ذرات آلاینده، به این اتصال کمک می‌کند.
۵. بالا آمدن به سطح: مجموعه حباب-ذره، به دلیل چگالی کمتر از آب، به سمت سطح مخزن شناورسازی بالا می‌آید.
۶. تشکیل کیک شناور: در سطح مخزن، یک لایه غلیظ از مواد شناور (که به آن کیک شناور یا فلوٹ کیک گفته می‌شود) تشکیل می‌شود.

۷. حذف کیک شناور: این لایه توسط مکانیزم‌های مکانیکی (مانند اسکیمرها یا پاروهای زنجیری) از سطح جمع‌آوری شده و به واحدهای پردازش لجن (معمولاً تغلیظ‌کننده‌ها یا هضم‌کننده‌ها) منتقل می‌شود. فاضلاب زلال شده نیز از کف مخزن DAF خارج می‌شود.

مزایای DAF:

- کارایی بالا در حذف مواد سبک: به ویژه برای چربی‌ها، روغن‌ها و گریس‌ها (FOG) و مواد کلوئیدی.
- سرعت بالا: نرخ‌های سرریز مایع در DAF معمولاً بالاتر از زلال‌سازهای ته‌نشینی هستند، به این معنی که برای همان دبی فاضلاب، به فضای کمتری نیاز دارند.
- افزایش غلظت لجن: DAF می‌تواند لجن (کیک شناور) را با غلظت جامدات بالاتری نسبت به لجن حاصل از ته‌نشینی تولید کند که هزینه‌های پردازش لجن را کاهش می‌دهد.

شناورسازی با هوای محلول یک فناوری پیشرفته و مؤثر است که در صنایع مختلف (مانند صنایع غذایی، کشتارگاه‌ها، پالایشگاه‌ها) و همچنین در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری برای بهبود کیفیت پساب و مدیریت بهتر لجن استفاده می‌شود.

فصل سوم

بهره برداری و نگهداری از واحد بیولوژیکی لجن فعال

www.daneshemohit.ir

عملیات لجن فعال: یک رویکرد جامع

هدف و اصول: اکوسیستم‌های مهندسی‌شده برای تصفیه فاضلاب

فرآیند لجن فعال یک شاهکار مهندسی بیولوژیکی است که از اصول طبیعت برای تسریع تصفیه فاضلاب بهره می‌برد. در هسته خود، این فرآیند یک سیستم بیولوژیکی هوازی است که به طور چشمگیری سرعت تجزیه مواد آلی موجود در فاضلاب را افزایش می‌دهد. این فرآیند مصنوعی، تقلیدی هوشمندانه از توانایی خودپالایی طبیعی رودخانه‌ها و دریاچه‌هاست، اما با نرخ‌ها و راندمان بسیار بالاتر.

میکروارگانیسم‌ها، قهرمانان گمنام این فرآیند، نقش "کارگران" اصلی را ایفا می‌کنند. آنها از مواد آلی موجود در فاضلاب به عنوان منبع غذا و انرژی برای انجام فرآیندهای حیاتی و تکثیر خود استفاده می‌کنند. این ارگانیسم‌ها، عمدتاً باکتری‌های هوازی، مواد آلی محلول یا ریز معلق را که ممکن است در مراحل تصفیه اولیه از بین نرفته باشند، اکسید کرده و حذف می‌کنند. در این فرآیند، آنها این مواد نامطلوب را به جامدات قابل ته‌نشینی تبدیل می‌کنند که به راحتی می‌توانند از آب جدا شوند.

رابطه بین نرخ رشد میکروبی و غلظت "غذا" (ماده آلی) توسط معادله مونود (Monod equation) به خوبی توصیف می‌شود که یک اصل بنیادی در درک دینامیک این سیستم است. برای عملکرد بهینه و رشد پایدار بیولوژیکی، ضروری است که جریان فاضلاب از نظر مواد مغذی متعادل باشد. نسبت ایده‌آل کربن:نیتروژن:فسفر (C:N:P) که برای فاضلاب‌های صنعتی بین ۱۰۰:۲۰:۱ تا ۱۰۰:۵:۱ متغیر است، نقش حیاتی در سلامت و کارایی جمعیت میکروبی ایفا می‌کند. کمبود هر یک از مواد مغذی ضروری مانند نیتروژن، فسفر، آهن و سایر فلزات کمیاب، می‌تواند به شدت بر عملکرد فرآیند تأثیر منفی بگذارد.

در نهایت، هدف اصلی فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی تبدیل ضایعات آلی محلول، معلق و کلوئیدی به اشکال پایدارتر و جامدتر است که یا می‌توانند به راحتی از طریق ته‌نشینی حذف شوند یا به طور ایمن در محیط تخلیه گردند. این امر نه تنها کیفیت پساب را بهبود می‌بخشد، بلکه از آلودگی محیط زیست نیز جلوگیری می‌کند.

اصطلاحات کلیدی: زبان لجن فعال

آشنایی با اصطلاحات تخصصی درک عمیق‌تری از فرآیند لجن فعال را فراهم می‌کند:

- **لجن فعال (Activated Sludge):** این اصطلاح به توده بیولوژیکی جامدی اطلاق می‌شود که در اثر رشد میکروارگانیسم‌ها در مخازن هوادهی، در حضور اکسیژن محلول و مواد آلی فاضلاب، تشکیل می‌شود. این ذرات لجن، میزبان جمعیتی عظیم از باکتری‌ها، قارچ‌ها و پروتوزوا هستند. تفاوت عمده آن با لجن اولیه (که بیشتر شامل مواد جامد فیزیکی است) در وجود این ارگانیسم‌های زنده و فعال است که از فاضلاب ورودی تغذیه می‌کنند.
- **مایع مخلوط (Mixed Liquor):** این نامی است که به مخلوط همگن از لجن فعال برگشتی (RAS) و فاضلاب ورودی (چه ورودی خام و چه پساب ته‌نشینی اولیه) در مخزن هوادهی داده می‌شود. این مخلوط به طور مداوم هم زده و هوادهی می‌شود تا از تماس کافی میکروارگانیسم‌ها با مواد آلی و اکسیژن اطمینان حاصل شود.
- **لجن فعال برگشتی (RAS - Return Activated Sludge):** پس از ته‌نشینی مایع مخلوط در زلال‌ساز ثانویه، بخشی از لجن فعال ته‌نشین‌شده از کف زلال‌ساز جدا شده و مجدداً به مخزن هوادهی پمپ می‌شود. هدف از این بازگشت، حفظ یک جمعیت میکروبی کافی و فعال در سیستم است.

- **لجن فعال دفعی (WAS - Waste Activated Sludge):** این بخش از لجن فعال ته‌نشین شده است که به دلیل رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها، از سیستم حذف می‌شود. حذف WAS برای کنترل سن لجن و حفظ نسبت مطلوب میکروارگانیسم‌ها به غذا ضروری است.
- **زمان ماند سلولی متوسط / (MCRT - Mean Cell Residence Time) یا زمان ماند لجن (SRT - Sludge Retention Time)**
این پارامتر حیاتی، میانگین مدت زمانی را که یک ذره جامدات معلق مایع مخلوط (MLSS) در کل سیستم لجن فعال (هم مخزن هوادهی و هم زلال‌ساز) باقی می‌ماند، نشان می‌دهد. MCRT یک ابزار کنترلی کلیدی برای مدیریت جمعیت میکروبی و کارایی فرایند است.
- **سن لجن (Sludge Age):** این معیار نشان‌دهنده مدت زمانی است که ذرات جامدات معلق در فرایند لجن فعال باقی مانده‌اند. از طریق این محاسبه می‌توانیم میزان جامدات معلق ورودی در هر واحد MLSS را ارزیابی کنیم.
- **نسبت غذا به میکروارگانیسم (F/M - Food-to-Microorganism Ratio):** این نسبت یک محاسبه کنترلی مهم است که میزان "غذا" (اندازه‌گیری شده به صورت BOD یا COD در دسترس برای هر واحد MLVSS (جامدات معلق فرار مایع مخلوط، که نمایانگر جرم فعال میکروبی است) را ارزیابی می‌کند. این نسبت مستقیماً بر رشد و فعالیت باکتری‌ها در مخزن هوادهی تأثیر می‌گذارد.
- **شاخص حجمی لجن (SVI - Sludge Volume Index):** این شاخص یک معیار کلیدی برای ارزیابی قابلیت ته‌نشینی لجن فعال است. SVI بالاتر نشان‌دهنده لجن با قابلیت ته‌نشینی ضعیف‌تر، فشرده‌سازی کمتر و افزایش احتمال خروج جامدات معلق در پساب است. این معیار برای تشخیص مشکلاتی مانند بالکینگ لجن حیاتی است.
- **حجم لجن ته‌نشین شده (SSV - Settled Sludge Volume):** این حجم (معمولاً در درصد یا میلی‌لیتر در لیتر) نشان‌دهنده فضای اشغال شده توسط نمونه‌ای از لجن فعال پس از یک دوره ته‌نشینی مشخص (معمولاً ۳۰ یا ۶۰ دقیقه) است. این یک نشانگر اولیه و سریع از کیفیت ته‌نشینی لجن است.

شرح فرایند: گام به گام در تصفیه‌خانه لجن فعال

- یک تصفیه‌خانه لجن فعال معمولی از یک توالی منطقی برای تصفیه فاضلاب پیروی می‌کند:
۱. **پیش‌تصفیه:** فاضلاب ابتدا از مراحل پیش‌تصفیه عبور می‌کند که شامل غربالگری (اشغالگیری) برای حذف مواد جامد درشت و حذف شن و ماسه است. این مراحل از آسیب به تجهیزات بعدی و تجمع مواد غیر آلی جلوگیری می‌کنند.
 ۲. **ته‌نشینی اولیه (اختیاری):** در بسیاری از موارد، فاضلاب پس از پیش‌تصفیه وارد یک زلال‌ساز اولیه می‌شود. در اینجا، با کاهش سرعت جریان، جامدات معلق سنگین‌تر فرصت ته‌نشینی پیدا می‌کنند و بخشی از مواد آلی نیز حذف می‌شود. این مرحله بار آلی ورودی به فرایند لجن فعال را کاهش می‌دهد.
 ۳. **مخزن هوادهی:** این قلب فرایند لجن فعال است. پساب اولیه (یا فاضلاب خام در صورت عدم وجود ته‌نشینی اولیه) با لجن فعال برگشتی (RAS) مخلوط شده و وارد مخزن هوادهی می‌شود. این مخلوط اکنون مایع مخلوط نامیده می‌شود. در این مخزن، هوادهی مداوم (از طریق دمنده‌ها یا هوادهای سطحی) اکسیژن مورد نیاز برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها را فراهم می‌کند و همچنین مایع مخلوط را به هم زده و از ته‌نشینی جلوگیری می‌کند. میکروارگانیسم‌ها در مایع مخلوط، مواد آلی موجود در فاضلاب را مصرف کرده، تکثیر می‌شوند و آن‌ها را به توده‌های قابل ته‌نشینی (لخته‌ها) تبدیل می‌کنند.

۴. **زالال‌ساز ثانویه** : پس از سپری کردن زمان کافی در مخزن هواده‌ی، مایع مخلوط به زالال‌ساز ثانویه (که به آن حوضچه ته‌نشینی ثانویه نیز گفته می‌شود) منتقل می‌شود. در اینجا، شرایط آرام و بدون تلاطم به لخته‌های لجن فعال اجازه می‌دهد تا به دلیل جاذبه ته‌نشین شوند و یک لایه لجن در کف مخزن تشکیل دهند.
۵. **بازگرداندن لجن (RAS)** : بخش قابل توجهی از لجن فعال ته‌نشین‌شده از کف زالال‌ساز ثانویه جمع‌آوری شده و به مخزن هواده‌ی بازگردانده می‌شود. این چرخه برگشت برای حفظ یک جمعیت میکروبی فعال و کافی در فرآیند لجن فعال ضروری است.
۶. **دفع لجن اضافی (WAS)** : با توجه به رشد مداوم میکروارگانیسم‌ها، حجم لجن فعال افزایش می‌یابد. بنابراین، بخش اضافی از لجن ته‌نشین‌شده (WAS) به طور منظم از سیستم خارج می‌شود. این لجن دفعی برای تصفیه و دفع نهایی به واحدهای پردازش لجن (مانند هاضم‌ها و واحدهای آبگیری) فرستاده می‌شود.
۷. **پساب تصفیه‌شده** : مایع شفافی که از سرریز زالال‌ساز ثانویه سراریز می‌شود، پساب تصفیه‌خانه است. این پساب معمولاً برای از بین بردن پاتوژن‌های باقی‌مانده، تحت فرآیند ضدعفونی (با کلر، اشعه فرابنفش یا ازن) قرار می‌گیرد و سپس به محیط زیست (رودخانه، دریا و غیره) تخلیه می‌شود.

انواع فرآیندهای لجن فعال: سازگاری برای نیازهای مختلف

سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی با رشد معلق، مجموعه‌ای از اصلاحات فرآیند لجن فعال را شامل می‌شوند که برای برآورده کردن نیازهای خاص و شرایط مختلف طراحی شده‌اند. این تغییرات، انعطاف‌پذیری قابل توجهی در تصفیه فاضلاب فراهم می‌کنند:

- **لجن فعال معمولی (Conventional Activated Sludge)** : این پرکاربردترین شکل لجن فعال است. در این فرآیند، پساب اولیه (یا فاضلاب خام) با RAS مخلوط شده و وارد یک مخزن هواده‌ی می‌شود. مخزن هواده‌ی می‌تواند به صورت جریان پیستونی (Plug Flow) عمل کند که در آن فاضلاب به صورت خطی حرکت کرده و غلظت اکسیژن و مواد آلی در طول مخزن تغییر می‌کند، یا به صورت کاملاً مخلوط (Completely Mixed) که در آن محتویات مخزن به طور کامل همگن هستند. پس از هواده‌ی، مخلوط وارد یک زالال‌ساز ثانویه می‌شود. هدف این فرآیند، کاهش ۹۰ تا ۹۹ درصدی BOD و جامدات معلق است.
- **هواده‌ی گسترده (Extended Aeration)** : این اصلاح اغلب برای جوامع کوچک، املاک فردی و تصفیه‌خانه‌های پکیج که نیاز به سیستم‌های جمع‌وجورتر و با نگهداری کمتر دارند، استفاده می‌شود. مشخصه اصلی آن، زمان‌های هواده‌ی طولانی‌تر و نرخ‌های بارگذاری آلی پایین‌تر در مقایسه با فرآیند معمولی است. این سیستم‌ها برای زمان‌های ماند جامدات طولانی (SRT)، غلظت‌های MLSS بالا و نسبت‌های F/M پایین طراحی شده‌اند که منجر به هضم بیشتر لجن در داخل فرآیند و کاهش تولید لجن دفعی می‌شود.
- **تثبیت تماسی (Contact Stabilization)** : این فرآیند دو مرحله‌ای برای مواردی که فاضلاب دارای بار آلی بالایی از مواد کلوئیدی و معلق است، مناسب است. در این فرآیند، فاضلاب ابتدا با لجن فعال تثبیت‌شده در یک "مخزن تماس" برای مدت کوتاهی مخلوط می‌شود. در این مرحله، میکروارگانیسم‌ها مواد آلی را به سرعت جذب می‌کنند. سپس مخلوط به زالال‌ساز رفته و لجن ته‌نشین‌شده به یک مخزن جداگانه به نام "مخزن تثبیت" یا "هواده‌ی مجدد" پمپ می‌شود. در این مخزن، لجن برای مدت طولانی‌تری هواده‌ی می‌شود تا مواد آلی جذب شده را هضم و پایدار کند، قبل از اینکه مجدداً به مخزن تماس بازگردانده شود.
- **کانال اکسیداسیون (Oxidation Ditch)** : یک شکل اصلاح‌شده از لجن فعال است که معمولاً در حالت هواده‌ی طولانی عمل می‌کند. این سیستم شامل یک حوضچه هواده‌ی به شکل بیضی یا دایره‌ای است که در آن مایع

مخلوط به طور مداوم با استفاده از هوادهای سطحی یا دیفیوزرها به گردش در می‌آید. کانال‌های اکسیداسیون به دلیل زمان ماند طولانی و توانایی بالا در حذف BOD (بالای ۹۰٪) و حتی حذف نیتروژن، بسیار کارآمد هستند. این سیستم‌ها نیز معمولاً با پیش‌تصفیه مقدماتی همراه هستند.

عملیات: نظارت و کنترل برای عملکرد پایدار

عملیات موفقیت‌آمیز یک واحد لجن فعال نیازمند درک عمیق از بیولوژی فرآیند و پایش مستمر پارامترهای کلیدی است. اپراتورها باید با ارگانیزم‌های اصلی (باکتری‌ها، قارچ‌ها، پروتوزوا، روتیفرها و نماتدها) آشنا باشند، زیرا حضور و شکل آن‌ها می‌تواند نشان‌دهنده سلامت سیستم باشد.

عملکرد عادی به حفظ یک تعادل ظریف بین سه عنصر اصلی بستگی دارد:

۱. **غذا (مواد آلی):** بار آلی ورودی به سیستم.
 ۲. **ارگانیزم‌ها (لجن فعال):** جمعیت میکروبی فعال در سیستم.
 ۳. **اکسیژن (DO):** اکسیژن محلول مورد نیاز برای فرآیندهای متابولیکی هوازی. اکثر مشکلات عملیاتی ریشه در عدم تعادل بین این سه عامل دارند.
- بررسی‌های روزانه برای تشخیص زودهنگام مشکلات بسیار مهم است:
- **ظاهر مایع مخلوط:** رنگ قهوه‌ای شکلاتی روشن مایع مخلوط در مخزن هوادهی نشان‌دهنده یک فرآیند سالم و متعادل است. تغییر رنگ می‌تواند نشانه مشکل باشد.
 - **عملکرد واحد هوادهی:** اپراتورها باید از عملکرد صحیح تجهیزات هوادهی (مانند دمنده‌ها، دیفیوزرها یا هوادهای سطحی) اطمینان حاصل کنند. این شامل بررسی صداهای غیرعادی، لرزش و روغن‌کاری مناسب است. هوادهی ناکافی منجر به شرایط بی‌هوازی و بوی بد می‌شود.
 - **خط لجن برگشتی:** بررسی جریان مناسب لجن فعال برگشتی (RAS) از زلال‌ساز به مخزن هوادهی حیاتی است. انسدادها یا کاهش جریان RAS می‌تواند تعادل میکروبی را مختل کند. در صورت کاهش جریان، ممکن است نیاز به اقدامات اصلاحی مانند بستن کوتاه مدت شیر خروجی برای رفع انسداد باشد.
 - **مشاهده بیولوژیکی:** هوشیاری اپراتور در مشاهده حرکت، رنگ و ظاهر فیزیکی توده بیولوژیکی (لخته‌ها) بسیار مهم است.

کنترل فرآیند شامل تنظیم مداوم پارامترها است:

- **غلظت جامدات (جرم لخته):** حفظ غلظت مناسب جامدات معلق مخلوط (MLSS) در هوادهی برای تطابق با بار آلی ورودی بسیار مهم است. این کار عمدتاً با تنظیم نرخ پمپاژ لجن دفعی (WAS) انجام می‌شود.
- **تامین اکسیژن:** تنظیم تامین اکسیژن برای حفظ سطح مطلوب اکسیژن محلول (DO) (معمولاً ۱ تا ۳ میلی‌گرم در لیتر) در مخزن هوادهی ضروری است. DO پایین‌تر از حد بهینه می‌تواند منجر به مشکلات جدی مانند بالا آمدن لجن در زلال‌ساز نهایی شود. همچنین، اختلال ناکافی می‌تواند منجر به نقاط مرده و شرایط سپتیک شود.
- **نرخ بازگشت لجن:** حجم لجن برگشتی به حوضچه‌های هوادهی معمولاً ۴۰ تا ۶۰ درصد جریان فاضلاب ورودی است. این نرخ باید به دقت تنظیم شود تا غلظت مطلوب MLSS در مخزن هوادهی حفظ شود.

- **دفع لجن (Wasting):** دفع لجن یک عمل حیاتی برای کنترل غلظت MLSS، نسبت F/M و سن لجن است. با حذف لجن اضافی، از رشد بیش از حد میکروارگانیسم‌ها و تجمع جامدات غیر فعال جلوگیری می‌شود.

استراتژی کنترل فرآیند: ابزارهای کمی برای اپراتور

محاسبات کنترل فرآیند، ابزارهای قدرتمندی در دستان اپراتور هستند که امکان بهینه‌سازی و کنترل دقیق عملیات را فراهم می‌آورند:

- **نسبت غذا به میکروارگانیسم (F/M):**

- **اهمیت:** این پارامتر کلیدی در طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های تصفیه هوازی است. حفظ نسبت F/M مناسب، تعادل بین غذای موجود و جمعیت میکروبی را تضمین می‌کند.
- **محاسبه F/M:** به عنوان نسبت BOD یا COD اعمال شده در روز به MLVSS (جامدات معلق فرار مایع مخلوط) در مخزن هوادهی محاسبه می‌شود.
- **تفسیر:**

- **F/M بالا:** ممکن است به دلیل بارگذاری بیش از حد یا جمعیت میکروبی کم باشد که منجر به پساب با کیفیت پایین و افزایش BOD می‌شود.
- **F/M پایین:** نشان‌دهنده لجن "پیر" و فعالیت میکروبی کند است که می‌تواند منجر به کاهش قابلیت ته‌نشینی و کف دار شدن شود.

- **سن لجن / (Sludge Age) زمان ماند سلولی متوسط (MCRT):**

- **اهمیت:** این پارامتر میانگین مدت زمانی را که جامدات در سیستم باقی می‌مانند، نشان می‌دهد. کنترل MCRT به اپراتور امکان می‌دهد تا جمعیت میکروبی را مدیریت کرده و به اهداف تصفیه خاصی دست یابد.
- **محاسبه MCRT:** با تقسیم جرم کل جامدات معلق در فرآیند لجن فعال (مخزن هوادهی و زلال‌ساز) بر جرم کل جامدات معلق خارج شده از فرآیند در روز (هم WAS و هم جامدات در پساب نهایی) محاسبه می‌شود.
- **تفسیر:**

- **MCRT طولانی‌تر:** به طور کلی به معنای غلظت MLSS بالاتر در مخزن هوادهی و تولید لجن کمتر (به دلیل هضم داخلی بیشتر) است. معمولاً در سیستم‌های هوادهی طولانی و کانال‌های اکسیداسیون (۲۰-۳۰ روز) مشاهده می‌شود.
- **MCRT کوتاه‌تر:** در سیستم‌های لجن فعال معمولی (۵-۱۵ روز) رایج‌تر است و می‌تواند به معنای نیاز به دفع لجن بیشتر باشد.

- **حجم لجن ته‌نشین شده (SSV) و شاخص حجمی لجن (SVI):**

- **اهمیت:** این آزمایش‌ها برای ارزیابی ویژگی‌های ته‌نشینی لجن فعال ضروری هستند و به پیش‌بینی مشکلات احتمالی ته‌نشینی در زلال‌ساز کمک می‌کنند.

- **حجم لجن ته نشین شده (SSV) :** حجمی را که نمونه‌ای از لجن پس از یک دوره مشخص (معمولاً ۳۰ یا ۶۰ دقیقه، به عنوان مثال SSV30 یا SSV60 در یک ظرف اندازه‌گیری شده (مانند استوانه مدرج) ته‌نشین می‌شود، نشان می‌دهد.

- **شرایط عادی :** در شرایط عادی، لجن به صورت یک توده متراکم ته‌نشین می‌شود و پساب شفاف تولید می‌کند SSV60 معمولاً بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌لیتر در لیتر است.

- **شاخص حجمی لجن (SVI) :** با استفاده از SSV₃₀ و MLSS (در میلی‌گرم در لیتر) محاسبه می‌شود و نشان‌دهنده تمایل لجن فعال به فشرده شدن و ته‌نشینی است.

- **SVI < 50 ml/g** نشان‌دهنده ته‌نشینی عالی است که اغلب با لجن متراکم و فشرده همراه است. با این حال، SVI بیش از حد پایین همچنین می‌تواند نشان‌دهنده لجن بیش از حد تصفیه‌شده باشد که ممکن است در حذف آلاینده‌ها ناکارآمد باشد.

- **SVI = 50-150 ml/g** محدوده عملیات عادی و ایده‌آل است. لجن به خوبی ته‌نشین می‌شود و پساب با کدورت پایین تولید می‌شود.

- **SVI > 150 ml/g** نشان‌دهنده لجن حجیم (bulking sludge) است. این وضعیت با ته‌نشینی ضعیف، که اغلب با رشد باکتری‌های رشته‌ای، نسبت کم غذا به میکروارگانیسم (F/M) یا سطح پایین اکسیژن محلول همراه است.

عیب‌یابی: از شناسایی تا رفع مشکلات

عیب‌یابی موثر در عملیات لجن فعال مستلزم توانایی شناسایی مشکلات از طریق مشاهده و داده‌ها و سپس اجرای اقدامات اصلاحی مناسب است. در اینجا برخی از مشکلات رایج و راه‌حل‌های آن‌ها آورده شده است:

• کف سفید و ضخیم در مخزن هوادهی:

- **علت :** معمولاً نشان‌دهنده لجن قدیمی و با سن لجن (SRT) بالا است. همچنین ممکن است ناشی از وجود باکتری‌های رشته‌ای یا مقادیر زیاد چربی و روغن باشد.
- **اقدامات اصلاحی :** کاهش سن لجن با افزایش نرخ دفع لجن (WAS) و بهبود حذف چربی و روغن در مراحل پیش‌تصفیه.

• کف سفید و نازک:

- **علت :** ممکن است نشان‌دهنده نرخ دفع لجن بیش از حد بالا باشد که منجر به سن لجن پایین و جمعیت میکروبی کم می‌شود.

- **اقدامات اصلاحی :** کاهش نرخ دفع لجن و افزایش سن لجن.

• رنگ سیاه مایع مخلوط/بوی تخم مرغ گندیده (H₂S):

- **علت :** نشان‌دهنده شرایط سپتیک (بی‌هوازی)، غلظت پایین اکسیژن محلول (DO) یا جریان هوای ناکافی است.

- **اقدامات اصلاحی :** افزایش شدید هوادهی برای رساندن DO به سطح مطلوب (۱-۳ میلی‌گرم در لیتر).

• بالکینگ لجن - (Bulking) ته‌نشینی ضعیف

- علت: یکی از شایع‌ترین و جدی‌ترین مشکلات. که می‌تواند ناشی از رشد بیش از حد باکتری‌های رشته‌ای به دلیل بار آلی نامتعادل، کمبود مواد مغذی یا F/M پایین، سطح MLSS پایین، سمیت یا اضافه بار هیدرولیکی باشد.

○ اقدامات اصلاحی:

- تنظیم نرخ پمپاژ لجن فعال برگشتی (RAS): افزایش RAS می‌تواند به حفظ MLSS در مخزن هوادهی کمک کند.
- بررسی و کنترل سمیت: شناسایی و حذف منابع مواد سمی در ورودی.
- تنظیم سطح جامدات: حفظ MLSS در محدوده عملیاتی مطلوب.
- شوک کلر: در برخی موارد، برای کنترل باکتری‌های رشته‌ای می‌توان از شوک کلر استفاده کرد (با احتیاط فراوان).
- تنظیم نسبت F/M: با افزایش یا کاهش نرخ دفع لجن.

• بالا آمدن جامدات در زلال‌ساز: (Rising Sludge)

- علت: اگر لجن در کمتر از ۱ ساعت پس از ورود به زلال‌ساز شروع به بالا آمدن کند، معمولاً نشان‌دهنده دنیتریفیکاسیون (حذف نیترات توسط باکتری‌ها و تولید گاز نیتروژن) در خود زلال‌ساز است. حباب‌های گاز نیتروژن به لخته‌های لجن چسبیده و باعث شناور شدن آنها می‌شوند.
- اقدامات اصلاحی: افزایش نرخ بازگشت لجن (RAS) برای کاهش زمان ماند لجن در زلال‌ساز. همچنین، افزایش هوادهی در مخزن هوادهی برای اطمینان از حذف کامل نیتروژن قبل از زلال‌ساز.

• پساب کدر: (Turbid Effluent)

- علت: می‌تواند ناشی از نامتعادل بودن نرخ پمپاژ لجن فعال برگشتی (RAS)، سمیت، اضافه بار هیدرولیکی، یا جریان‌های کوتاه در زلال‌ساز باشد. همچنین پین فلاک (pin floc) (لخته‌های بسیار ریز که ته‌نشین نمی‌شوند) می‌تواند پساب را کدر کند.
- اقدامات اصلاحی: افزایش نرخ لجن برگشتی. بررسی برای سمیت یا اضافه بار هیدرولیکی. اطمینان از طراحی و عملکرد مناسب زلال‌ساز.

• مرگ سریع ارگانیسم‌های لجن فعال:

- علت: نشان‌دهنده ورود مواد سمی به فاضلاب است.

○ اقدامات اصلاحی:

- در صورت امکان، جداسازی جریان ورودی حاوی مواد سمی.
- بازگرداندن تمام جامدات فعال موجود به مخزن هوادهی.
- توقف دفع لجن (WAS).

- افزایش نرخ بازگشت لجن (RAS)
- اجرای یک برنامه پیش تصفیه صنعتی برای کنترل تخلیه مواد سمی.

محاسبات:

محاسبات دقیق و منظم برای کنترل فرآیند لجن فعال ضروری هستند. آنها به اپراتورها کمک می‌کنند تا وضعیت سیستم را ارزیابی کرده و تصمیمات آگاهانه بگیرند:

نسبت: F/M (Food-to-Microorganism Ratio)

- **هدف:** بررسی تعادل بین مقدار مواد آلی ورودی (BOD) و مقدار زیست‌توده فعال (MLVSS) در سیستم تصفیه.
- **فرمول:**

$$\frac{F}{M} = \frac{BOD \left(\frac{kg}{day} \right)}{MLVSS (kg)}$$

برای محاسبه BOD ورودی به سیستم بر حسب (kg/day):

$$BOD (mg/L) \times Q (m^3/day) \times 10^{-3} = BOD (kg/day)$$

برای محاسبه MLVSS در هوادهی بر حسب (kg):

$$MLVSS (mg/L) \times V (m^3) \times 10^{-3} = MLVSS (kg)$$

نکته:

MLVSS معمولاً 70-80٪ از MLSS است، یعنی:

$$MLSS \times 0.75 \approx MLVSS$$

سن لجن (Sludge Age) / زمان ماند سلولی متوسط (MCRT)

$$\frac{\text{جرم کل جامدات معلق در سیستم (kg)}}{\text{مقدار جامدات معلق دفع شده روزانه (kg/day)}} = MCRT (day)$$

جرم کل جامدات در سیستم (kg):

$$(جامدات معلق در کف ته‌نشین‌ساز \times \text{حجم ته‌نشین‌ساز}) + (MLSS \times \text{حجم حوض هوادهی}) = \text{Total SS mass}$$

همگی به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\text{جرم (kg)} = 10^{-3} \times (\text{mg/L}) \times \text{غلظت} \times (\text{m}^3) \text{ حجم}$$

جرم جامدات دفع‌شده: (kg/day)

(دبی لجن دفعی \times غلظت جامدات معلق در لجن + (دبی خروجی نهایی \times غلظت جامدات معلق در پساب نهایی)
جامدات معلق خروجی روزانه = دفعی)

• نرخ دفع لجن: (Waste Rate)

- هدف: تعیین مقدار لجن برداشت‌شده از سیستم برای کنترل فرآیند و پارامترهایی مانند MLSS ، F/M ، MCRT و محاسبه:

$$(\text{kg/day}) \text{ لجن دفعی} = 10^{-3} \times (\text{m}^3/\text{day}) \text{ دبی لجن دفعی} \times (\text{mg/L}) \text{ غلظت جامدات معلق در لجن دفعی}$$

- با تنظیم نرخ جریان پمپ WAS ، می‌توان MLSS ، F/M و سن لجن را کنترل کرد.

• موازنه جرم جامدات: (Solids Mass Balance)

- هدف: این مفهوم اساسی در تمام جنبه‌های تصفیه فاضلاب و لجن کاربرد دارد. برای فرآیندهای بیولوژیکی هوازی، موازنه جرم به ردیابی جامدات ورودی، جامدات تولید شده بیولوژیکی و جامدات خروجی کمک می‌کند.
- اصول:
- جامدات ورودی: شامل جامدات معلق موجود در فاضلاب خام و همچنین هرگونه جامدات بازیافتی دیگر.
- تولید بیولوژیکی: میکروارگانیسم‌ها با مصرف مواد آلی، جرم بیولوژیکی جدیدی تولید می‌کنند. تحقیقات، نرخ‌های تبدیل عمومی (K factors) را برای تخمین تولید جامدات بر اساس حذف BOD در فرآیندهای مختلف ارائه می‌دهند.

$$\text{Solids Produced} = K \times \text{BOD Removed (kg/day)}$$

- جامدات خروجی: شامل جامدات معلق در پساب نهایی و جامدات دفع‌شده.

$$\text{Solids In (kg/day)} + \text{Solids Produced (kg/day)} = \text{Solids Out (kg/day)}$$

$$\text{Solids In} = \text{Influent SS (kg/day)}$$

$$\text{Solids Produced} = K \times \text{BOD Removed (kg/day)}$$

$$\text{Solids Out} = \text{Effluent SS (kg/day)} + \text{Wasted Solids (kg/day)}$$

مقدار K بسته به نوع فرآیند تصفیه متفاوت است. به طور معمول:

- برای فرآیند لجن فعال معمولی: (Conventional Activated Sludge)
 $K \approx 0.5-0.8$

- به این معنا که به ازای هر کیلوگرم BOD حذف شده، ۰٫۵ تا ۰٫۸ کیلوگرم جامد بیولوژیکی تولید می‌شود.

○ **اهمیت:** انجام موازنه جرم به ارزیابی اثربخشی کنترل فرآیند و دقت داده‌های پایش کمک می‌کند. اگر موازنه به طور قابل توجهی برقرار نباشد، نشان‌دهنده خطاهای اندازه‌گیری یا مشکلات ناشناخته در فرآیند است.

فصل چهارم

بهره برداری و نگهداری از واحد های بیولوژیکی صافی
های چکنده، دیسک های بیولوژیکی دوار و حوضچه های
تثبیت

پس از مراحل اولیه تصفیه فاضلاب شامل آشغال‌گیری، خرد کردن، و حذف شن و ماسه، و همچنین تصفیه اولیه که عموماً به معنای ته‌نشینی جامدات در مخازن آرام بخش است، فاضلاب هنوز حاوی مقادیر قابل توجهی از جامدات معلق ریزتر و مواد آلی محلول است. این مواد آلی، به دلیل مصرف بالای اکسیژن توسط میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه‌شان، می‌توانند به شدت به محیط‌های آبی آسیب برسانند. اینجا است که تصفیه ثانویه یا همان تصفیه بیولوژیکی وارد عمل می‌شود.

هدف اصلی تصفیه بیولوژیکی، تبدیل این مواد آلی محلول یا معلق به اشکال قابل جداسازی‌تر از آب است. این فرآیند اغلب می‌تواند تا ۹۰ درصد یا حتی بیشتر از BOD (اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی) و جامدات معلق را از فاضلاب حذف کند. سه روش رایج و مؤثر در این زمینه شامل صافی‌های چکنده (Trickling Filters)، دیسک‌های بیولوژیکی دوار (Rotating Biological Contactors - RBCs) و حوضچه‌های تثبیت فاضلاب (Wastewater Stabilization Ponds) هستند. در ادامه، هر یک از این روش‌ها را با جزئیات بیشتری بررسی خواهیم کرد.

۱. صافی‌های چکنده (Trickling Filters)

صافی‌های چکنده از قدیمی‌ترین و در عین حال قابل اعتمادترین روش‌های تصفیه بیولوژیکی هستند که برای حذف مواد آلی و جامدات معلق از فاضلاب طراحی شده‌اند. این سیستم‌ها در دسته "رشد چسبیده (Fixed Film)" قرار می‌گیرند، به این معنی که میکروارگانیسم‌های فعال در تصفیه، به جای معلق بودن در آب، روی یک سطح ثابت (محیط بستر) رشد و تجمع می‌یابند.

الف. ساختار و نحوه کار

یک صافی چکنده اساساً از یک بستر پر شده با مواد درشت تشکیل شده است. این مواد می‌توانند سنگ، پلاستیک‌های ویژه، یا حتی چوب باشند که دارای سطح مقطع بالایی برای رشد میکروارگانیسم‌ها هستند. فاضلاب، که معمولاً پس‌اب خروجی از مرحله ته‌نشینی اولیه است، به طور یکنواخت توسط یک سیستم توزیع (مانند بازوی چرخان یا نازل‌های ثابت) روی سطح این بستر پاشیده می‌شود.

همانطور که فاضلاب به آرامی از میان حفره‌ها و فضاهای بستر به سمت پایین چکه می‌کند، یک لایه لغزنده و ژلاتینی از میکروارگانیسم‌ها به نام "فیلم بیولوژیکی" یا "لجن بیولوژیکی" روی سطح مواد درشت شکل می‌گیرد. این فیلم بیولوژیکی یک اکوسیستم کوچک و فعال است که شامل انواع باکتری‌ها، تک‌یاخته‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و حتی کرم‌ها و لارو حشرات کوچک است.

وظیفه اصلی این فیلم بیولوژیکی، جذب و مصرف مواد آلی موجود در فاضلاب است. همزمان با چکه کردن فاضلاب، هوا نیز به طور طبیعی از طریق فضاهای خالی بستر به داخل فیلتر نفوذ می‌کند و اکسیژن مورد نیاز برای تنفس و فعالیت‌های متابولیکی میکروارگانیسم‌ها را تأمین می‌کند. این فرآیند باعث می‌شود که لایه بیرونی فیلم بیولوژیکی همواره هوای باقی‌مانده، که برای تجزیه مؤثر مواد آلی ضروری است.

با مصرف مواد آلی و اکسیژن، میکروارگانیسم‌ها رشد و تکثیر پیدا کرده و دی‌اکسید کربن، سولفات‌ها، نیترات‌ها و دیگر محصولات جانبی پایدار را تولید می‌کنند. با گذشت زمان، این فیلم بیولوژیکی ضخیم‌تر و سنگین‌تر می‌شود. در نتیجه، بخشی از این فیلم به طور طبیعی از سطح بستر جدا می‌شود و به همراه فاضلاب تصفیه شده به سمت پایین جریان می‌یابد. این فرآیند را "لجن‌ریزی (Sloughing)" می‌نامند. این مواد جدا شده سپس به یک مخزن ته‌نشینی ثانویه هدایت می‌شوند تا با ته‌نشینی از آب جدا شوند. به مواد جامد ته‌نشین شده در این مرحله معمولاً "هوموس" گفته می‌شود.

اجزای اصلی یک صافی چکنده عبارتند از:

- **محیط بستر (Media):** شامل سنگ، پلاستیک یا چوب رزود که سطح مناسبی برای رشد فیلم بیولوژیکی فراهم می‌کند.
- **سیستم توزیع:** بازوهای چرخان یا نازل‌های ثابت که فاضلاب را به طور یکنواخت روی بستر پخش می‌کنند.
- **سیستم زهکشی زیرین:** شبکه‌ای از لوله‌ها یا کانال‌ها در کف فیلتر که فاضلاب تصفیه شده و لجن‌های جدا شده را جمع‌آوری کرده و همچنین امکان تهویه و جریان هوا را فراهم می‌کنند.

ب. بهره‌برداری، نگهداری و رفع عیب

بهره‌برداری صحیح و نگهداری منظم فیلترهای چکنده برای کارایی بالا و جلوگیری از مشکلات ضروری است:

- **راه‌اندازی اولیه:** قبل از شروع به کار، تمام اجزای مکانیکی مانند پاتاقان‌ها، آب‌بندها، و بازوهای توزیع باید بررسی شوند. اطمینان از توزیع یکنواخت فاضلاب روی بستر با قرار دادن سینی‌های جمع‌آوری آب و اندازه‌گیری حجم آن، یک گام مهم است.
- **بهره‌برداری روزانه:** باید از کمترین میزان بازچرخانی (Recirculation) استفاده کرد که بتواند استانداردهای خروجی را رعایت کرده و از مشکلاتی مانند آب‌گرفتگی (Ponding) جلوگیری کند. حرکت بازوی توزیع‌کننده، یکنواختی پاشش، و هرگونه مشکل مکانیکی یا بوی غیرعادی باید روزانه بررسی شوند.
- **بازچرخانی (Recirculation):** این فرآیند شامل بازگرداندن بخشی از پساب فیلتر یا پساب ته‌نشینی ثانویه به ورودی فیلتر است. بازچرخانی فواید زیادی دارد:
 - **یکنواخت کردن جریان:** کمک می‌کند تا نوسانات شدید جریان ورودی به فیلتر کنترل شود.
 - **بهبود لجن‌ریزی:** جریان برگشتی می‌تواند به جدا شدن مؤثرتر لجن‌های انباشته شده کمک کند.
 - **کاهش بو:** با رقیق کردن فاضلاب ورودی و افزایش محتوای اکسیژن، به کاهش بوهای نامطبوع کمک می‌کند.
 - **کنترل حشرات:** می‌تواند به کنترل جمعیت مگس‌های فیلتر کمک کند.
- **نمونه برداری و آزمایش:** برای پایش عملکرد، نمونه‌برداری منظم از فاضلاب ورودی به فیلتر، جریان بازچرخانی شده، پساب فیلتر و پساب نهایی سیستم ضروری است. آزمایش‌های روزانه معمولاً شامل اکسیژن محلول (DO)، pH، دما و جامدات قابل ته‌نشینی هستند. آزمایش‌های دوره‌ای مانند BOD5 و جامدات معلق (Suspended Solids - SS) برای تعیین درصد حذف و تشخیص مشکلات عملیاتی انجام می‌شوند.
- **مشکلات رایج و رفع عیب:**
 - **آب‌گرفتگی (Ponding):** این مشکل زمانی رخ می‌دهد که فضاهای خالی بستر فیلتر مسدود می‌شوند و فاضلاب روی سطح جمع می‌شود. علت آن می‌تواند رشد بیش از حد لجن، انباشت زباله یا تخریب مواد بستر باشد. راه‌حل‌ها شامل شکستن مواد انباشته شده (با فشار آب یا ابزار)، افزایش میزان بازچرخانی، یا موقتاً بزرگتر کردن سوراخ‌های نازل‌ها است.
 - **بوهای نامطبوع:** معمولاً ناشی از ایجاد شرایط بی‌هوازی (Septic) در فاضلاب یا تهویه ناکافی فیلتر هستند. بهبود شرایط تصفیه اولیه (upstream)، افزایش بازچرخانی یا حتی کلرزنی موقت فاضلاب ورودی می‌تواند مفید باشد.

- **مگس‌های فیلتر (Filter Flies):** این حشرات در لجن فیلتر تولید مثل می‌کنند. روش‌های کنترل شامل غرقاب کردن موقت فیلتر (Flood)، استفاده از حشرمکش‌های مجاز یا بهبود تهویه هستند.
- **کیفیت پایین پساب:** مانند BOD یا SS بالا می‌تواند نشان‌دهنده بارگذاری هیدرولیکی یا آلی بیش از حد، لجن‌ریزی ناکافی یا ورود مواد سمی به سیستم باشد. تنظیم بارگذاری، افزایش بازچرخانی یا شناسایی و حذف منابع سمی از جمله اقدامات اصلاحی هستند.
- **نگهداری:** شامل روانکاری منظم تجهیزات مکانیکی، تمیز کردن منظم سطح بستر و نازل‌ها از زباله، تنظیم الگوهای جریان و نگهداری عمومی مخزن ته‌نشینی است. بازوهای توزیع‌کننده و نازل‌های ثابت نیاز به توجه ویژه‌ای دارند تا از توزیع یکنواخت فاضلاب اطمینان حاصل شود.
- ج. محاسبات کلیدی (نرخ بارگذاری هیدرولیکی و آلی)**
 - عملکرد فیلترهای چکنده بر اساس دو نرخ بارگذاری مهم ارزیابی و دسته‌بندی می‌شود:
 - **جریان کل (Total Flow):** مجموع جریان فاضلاب ورودی و جریان بازچرخانی شده به فیلتر است.
 - $\text{جریان کل (m}^3/\text{day)} = \text{جریان ورودی (m}^3/\text{day)} + \text{جریان بازچرخانی (m}^3/\text{day)}$
 - بارگذاری هیدرولیکی (Hydraulic Loading Rate):** میزان فاضلابی است که در یک روز بر روی واحد سطح از بستر فیلتر اعمال می‌شود. معمولاً با واحدهای متر مکعب در روز بر متر مربع ($\text{m}^3/\text{day/m}^2$) بیان می‌شود.
 - نرخ بارگذاری هیدرولیکی ($\text{m}^3/\text{day/m}^2$) = مساحت (m^2) / جریان کل (m^3/day)
 - برای فیلترهای دایره‌ای، مساحت را می‌توان با فرمول $0.785 \times \text{قطر}^2$ به توان ۲ محاسبه کرد.
 - **مثال:** یک فیلتر با قطر ۲۴ متر، روزانه ۲۱۰۰ متر مکعب پساب اولیه را با ۷۰۰ متر مکعب بازچرخانی تصفیه می‌کند.
 - $\text{جریان کل} = 2100 \text{ m}^3/\text{day} + 700 \text{ m}^3/\text{day} = 2800 \text{ m}^3/\text{day}$.
 - $\text{مساحت} = 0.785 \times (24\text{m})^2 = 0.785 \times 576 \text{ m}^2 = 452.16 \text{ m}^2$.
 - $\text{نرخ بارگذاری هیدرولیکی} = 2800 \text{ m}^3/\text{day} / 452.16 \text{ m}^2 = 6.19 \text{ m}^3/\text{day/m}^2$.
 - بارگذاری آلی (Organic Loading Rate):** مقدار BOD5 یا COD (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی) است که در یک روز به ازای هر متر مکعب از حجم محیط فیلتر اعمال می‌شود. معمولاً با واحدهای کیلوگرم BOD در روز بر متر مکعب (kg BOD/day/m^3) بیان می‌شود. نکته مهم این است که در این محاسبه، BOD یا COD ناشی از جریان بازچرخانی شده در نظر گرفته نمی‌شود.
 - $\text{kg BOD/day} = [\text{BOD (mg/L)} \times \text{جریان (m}^3/\text{day)}] / 1000$ (تبدیل mg/L به kg/m^3)
 - $\text{نرخ بارگذاری آلی (kg BOD/day/m}^3) = \text{بار آلی (kg BOD/day)} / \text{حجم (m}^3)$
 - $\text{عمق (m)} \times \text{مساحت (m}^2) = \text{حجم محیط}$
 - **مثال:** یک فیلتر با قطر ۱۸ متر و عمق بستر ۳ متر، روزانه ۱۶۷۰ متر مکعب فاضلاب با ۸۰ mg/L BOD دریافت می‌کند.
 - $\text{مساحت} = 0.785 \times (18\text{m})^2 = 0.785 \times 324 \text{ m}^2 = 254.34 \text{ m}^2$.
 - $\text{حجم} = 254.34 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m} = 763.02 \text{ m}^3$.
 - $\text{بار آلی} = [80 \text{ mg/L} \times 1670 \text{ m}^3/\text{day}] / 1000 = 133.6 \text{ kg BOD/day}$.
 - $\text{نرخ بارگذاری آلی} = 133.6 \text{ kg BOD/day} / 763.02 \text{ m}^3 = 0.175 \text{ kg BOD/day/m}^3$

۲. دیسک های بیولوژیکی دوار (Rotating Biological Contactors - RBCs)

کنتاکتورهای بیولوژیکی دوار (RBCs) نیز نوعی سیستم تصفیه بیولوژیکی با رشد چسبیده (Fixed Film) هستند که از نظر فرآیند بیولوژیکی پایه، شباهت زیادی به فیلترهای چکنده دارند.

الف. ساختار و نحوه کار

یک RBC شامل مجموعه‌ای از دیسک‌های دایره‌ای پلاستیکی (معمولاً مصنوعی) است که به صورت نزدیک به هم و موازی روی یک شافت افقی در حال چرخش نصب شده‌اند. قطر این دیسک‌ها معمولاً حدود ۳/۵ متر (۱۱/۵ فوت) است. این مجموعه شافت و دیسک‌ها اغلب به عنوان "درام" شناخته می‌شوند.

تقریباً ۴۰ درصد از هر دیسک در یک مخزن حاوی فاضلاب مورد تصفیه غوطه‌ور است. با چرخش آهسته RBC (معمولاً حدود ۱/۵ دور در دقیقه)، فیلم زیست‌توده (لایه لجن) چسبیده به دیسک‌ها به طور متناوب وارد فاضلاب شده و از آن خارج می‌شود.

- **هنگامی که دیسک‌ها در فاضلاب غوطه‌ور هستند:** میکروارگانیسم‌های موجود در فیلم بیولوژیکی، مواد آلی را از فاضلاب جذب و مصرف می‌کنند.

- **هنگامی که دیسک‌ها از فاضلاب خارج شده و در معرض هوا قرار می‌گیرند:** میکروارگانیسم‌ها اکسیژن مورد نیاز برای فعالیت‌های هوازی خود را از هوا جذب می‌کنند. این چرخه مداوم، محیط مناسبی را برای رشد و فعالیت باکتری‌ها فراهم می‌کند.

با رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها، لایه فیلم بیولوژیکی ضخیم‌تر می‌شود. هنگامی که این لایه بیش از حد ضخیم می‌شود، بخشی از آن به صورت طبیعی از سطح دیسک‌ها جدا می‌شود (لجن‌ریزی) و به همراه فاضلاب به سمت مخزن ته‌نشینی ثانویه جریان می‌یابد تا جامدات جدا شوند.

مخازن حاوی فاضلاب معمولاً به گونه‌ای طراحی می‌شوند که با شکل دیسک‌ها مطابقت داشته باشند تا از ایجاد نقاط مرده (Dead Spots) که جریان در آن‌ها راکد است، جلوگیری شود. برای بهبود کارایی و جلوگیری از اتصال کوتاه (Short-circuiting) فاضلاب، فرآیند معمولاً به چندین مرحله (معمولاً چهار یا بیشتر) تقسیم می‌شود که توسط دیواره‌ها از هم جدا شده‌اند. در مناطق سردسیر، RBCها ممکن است برای محافظت در برابر یخ‌زدگی و همچنین کنترل بو، پوشانده شوند.

ب. بهره‌برداری، نگهداری و رفع عیب

بهره‌برداری و نگهداری منظم برای حفظ عملکرد بهینه RBCها حیاتی است:

- **راه‌اندازی اولیه:** قبل از شروع به کار تجهیزات جدید، باید اجزای محرک، یاتاقان‌ها، فاصله‌ها، روانکاری و موارد ایمنی بازرسی شوند. از قرارگیری صحیح شیرها و دریچه‌های ورودی/خروجی اطمینان حاصل کنید. بسیار مهم است که واحد محرک قبل از ورود فاضلاب روشن شود تا از آسیب به سیستم جلوگیری شود.
- **بهره‌برداری روزانه:** اپراتورها باید به طور مداوم حرکت RBC، رنگ و ظاهر لجن را مشاهده کنند. نمونه‌برداری و آزمایش منظم از ورودی و خروجی برای پایش شاخص‌های کیفیت آب (مانند BOD، SS، DO) ضروری است.
- **بازرسی تجهیزات:** بازرسی‌های منظم شامل بررسی مجموعه محرک (موتور، چرخ‌دنده‌ها، تسمه‌ها/زنجیرها)، یاتاقان‌ها و شفت برای اطمینان از عملکرد صحیح، عدم وجود لرزش یا صدای غیرعادی و گرمای بیش از حد است.

- **مشاهده فیلم بیولوژیکی (Media Observation):** ظاهر زیست‌توده (فیلم بیولوژیکی) روی دیسک‌ها یک شاخص مهم از سلامت فرآیند است. زیست‌توده سالم و فعال معمولاً ضخیم، کرک دار و به رنگ خاکستری تا قهوه‌ای روشن است. لجن سفید، قهوه‌ای روشن یا نازک/تکه‌تکه می‌تواند نشان‌دهنده مشکلاتی در فرآیند باشد.
 - **مشکلات رایج در عملکرد:**
 - **جریان‌های بالا یا اضافه بار آلی:** می‌توانند باعث کاهش راندمان تصفیه، لجن‌ریزی بیش از حد و نازک شدن فیلم بیولوژیکی شوند.
 - **جریان‌های پایین یا بار آلی ناکافی:** می‌توانند منجر به نازک شدن فیلم بیولوژیکی شوند زیرا غذای کافی برای رشد میکروارگانیسم‌ها وجود ندارد.
 - **فاضلاب‌های سمی:** ورود مواد سمی به سیستم می‌تواند میکروارگانیسم‌ها را از بین ببرد و به شدت راندمان تصفیه و حتی منجر به از دست دادن کامل فیلم بیولوژیکی شود.
 - **رفع عیب:** برای هر یک از مشکلات فوق، راهنماهای عیب‌یابی خاصی وجود دارد که شاخص‌های مشکل، علل احتمالی و اقدامات اصلاحی را مشخص می‌کنند. راحل‌ها معمولاً شامل تنظیم جریان‌ها، حل مشکلات در مراحل تصفیه بالادست، افزودن مواد شیمیایی (مانند نیترات سدیم برای کنترل بو، پراکسید هیدروژن یا کلر در صورت لزوم) یا در صورت امکان، راه‌اندازی واحدهای RBC اضافی هستند.
 - **خاموشی و راه‌اندازی مجدد:** اگر قرار است یک واحد RBC برای مدت طولانی (بیش از یک روز) از سرویس خارج شود، ممکن است لازم باشد فیلم بیولوژیکی روی دیسک‌ها شسته شود. راه‌اندازی مجدد شامل بررسی تمام اجزا، روشن کردن واحد محرک و سپس وارد کردن تدریجی فاضلاب است.
 - **نگهداری:** شامل نگهداری‌های اولیه پس از راه‌اندازی و یک برنامه نگهداری پیشگیرانه است. این برنامه شامل روانکاری منظم، تنظیم کشش تسمه‌ها/زنجیرهای محرک و بررسی محکم بودن اتصالات است. تمیز نگه داشتن محیط اطراف واحد نیز برای عملکرد صحیح و طول عمر تجهیزات مهم است.
- ج. محاسبات کلیدی (نرخ بارگذاری هیدرولیکی و آلی)**
- عملکرد RBC ها نیز مانند فیلترهای چکنده، با استفاده از نرخ بارگذاری هیدرولیکی و آلی ارزیابی می‌شود:
- **بارگذاری هیدرولیکی (Hydraulic Loading Rate):** نرخ جریان فاضلاب اعمال شده به ازای هر واحد سطح از دیسک‌های RBC است. معمولاً با واحدهای متر مکعب در روز بر متر مربع ($m^3/day/m^2$) بیان می‌شود.
 - نرخ بارگذاری هیدرولیکی ($m^3/day/m^2$) = مساحت محیط (m^2) / جریان (m^3/day)
 - مثال: یک RBC روزانه ۵۰۰۰ متر مکعب پساب اولیه را با مساحت محیط ۵۵۰۰۰ متر مربع تصفیه می‌کند.
 - $5000 m^3/day / 55000 m^2 = 0.09 m^3/day/m^2$ = نرخ بارگذاری هیدرولیکی
- **بارگذاری آلی (Organic Loading Rate):** مقدار BOD (محلول یا کل) است که در یک روز به ازای هر واحد سطح از محیط دیسک‌ها اعمال می‌شود. اغلب به صورت گرم BOD در روز بر متر مربع ($g BOD/day/m^2$) بیان می‌شود. بار آلی، به ویژه برای مرحله اول RBC، اغلب کنترل‌کننده عملکرد کلی سیستم است. BOD محلول (sBOD) که تنها بخشی از BOD است که بلافاصله برای میکروارگانیسم‌ها قابل دسترس است، اهمیت ویژه‌ای دارد و می‌توان آن را با استفاده از غلظت جامدات معلق و یک ضریب "K" (معمولاً ۰/۷-۰/۵) برای فاضلاب شهری تخمین زد.

- $\text{BOD (mg/L)} \times \text{جریان (m}^3/\text{day)} = \text{BOD (g BOD/day)} \text{ بار آلی محلول}$
- نکته محاسباتی: (تبدیل mg/L به g/m^3 و سپس ضرب در حجم)
- $\text{مساحت محیط (m}^2\text{)} / \text{بار آلی محلول (g BOD/day)} = \text{نرخ بارگذاری آلی محلول (g BOD/day/m}^2\text{)}$
- مثال: جریان ۱۱۰۰۰ متر مکعب در روز به یک RBC دارای ۱۲۰ mg/L BOD محلول است. مرحله اول دارای ۲ شفت با ۱۰۰۰۰ متر مربع مساحت هر یک (مجموع ۲۰۰۰۰ متر مربع) است.
 - $\text{بار آلی محلول در روز} = 120 \text{ mg/L} \times 11000 \text{ m}^3/\text{day} = 1,320,000 \text{ mg BOD/day} = 1320 \text{ kg BOD/day}$
 - $\text{نرخ بارگذاری آلی (مرحله اول)} = 1320 \text{ kg BOD/day} / 20000 \text{ m}^2 = 0.066 \text{ kg BOD/day/m}^2 = 66 \text{ g BOD/day/m}^2$

۳. حوضچه‌های تثبیت فاضلاب (Wastewater Stabilization Ponds)

حوضچه‌های تصفیه فاضلاب، که به آن‌ها حوضچه‌های تثبیت یا لاگون نیز می‌گویند، از فرآیندهای طبیعی تصفیه برای پاکسازی فاضلاب استفاده می‌کنند. این روش‌ها به دلیل سادگی در ساخت و مدیریت و توانایی بالا در تحمل نوسانات جریان فاضلاب، به ویژه در مناطق روستایی یا با زمین ارزان، بسیار محبوب هستند. حوضچه‌ها می‌توانند به عنوان تنها سیستم تصفیه یا در ترکیب با سایر فرآیندها به کار روند.

الف. ساختار و انواع

حوضچه‌ها به گونه‌ای طراحی می‌شوند که اکوسیستم‌های طبیعی (بی‌هوازی، هوازی یا اختیاری) را برای کاهش BOD، TSS (کل جامدات معلق) و تعداد باکتری‌های کلیفرم تقویت کنند. در این حوضچه‌ها، فاضلاب توسط فرآیندهای طبیعی تصفیه یا "تثبیت" می‌شود:

- جامدات سنگین در کف حوضچه ته‌نشین می‌شوند و در آنجا توسط باکتری‌های بی‌هوازی تجزیه می‌شوند.
 - مواد معلق سبک‌تر و مواد آلی محلول توسط باکتری‌های معلق در آب تجزیه می‌شوند.
 - بخشی از آب فاضلاب نیز از طریق تبخیر از حوضچه خارج می‌شود.
- حوضچه‌ها را می‌توان بر اساس مکان آن‌ها در سیستم تصفیه، نوع فاضلابی که دریافت می‌کنند یا فرآیند بیولوژیکی اصلی که در آن‌ها اتفاق می‌افتد، طبقه‌بندی کرد:

انواع بر اساس فرآیندهای بیولوژیکی غالب:

- **حوضچه‌های هوازی (Aerobic Ponds):** این حوضچه‌ها شرایطی را فراهم می‌کنند که رشد ارگانیسم‌های تولیدکننده یا نیازمند اکسیژن، مانند جلبک‌ها و باکتری‌های هوازی، را تشویق می‌کند. در تمام عمق خود شرایط هوازی را حفظ می‌کنند. اکسیژن مورد نیاز از طریق فتوسنتز جلبک‌ها و همچنین انتقال اکسیژن از سطح آب به داخل (باز هوادهی سطحی) تأمین می‌شود. این حوضچه‌ها معمولاً برای تصفیه نهایی (پولیشینگ) یا تصفیه فاضلاب‌های با قدرت آلی پایین استفاده می‌شوند.
- **حوضچه‌های بی‌هوازی (Anaerobic Ponds):** این حوضچه‌ها در غیاب کامل اکسیژن عمل می‌کنند. باکتری‌های بی‌هوازی مواد آلی را تجزیه کرده و محصولات نهایی مانند متان و دی‌اکسید کربن تولید می‌کنند. این

حوضچه‌ها عمدتاً برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی با قدرت آلی بسیار بالا یا به عنوان مرحله اول تصفیه برای فاضلاب‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند تا بخش عمده‌ای از بار آلی اولیه را کاهش دهند.

- **حوضچه‌های اختیاری (Facultative Ponds):** این رایج‌ترین نوع حوضچه برای تصفیه فاضلاب شهری است. این حوضچه‌ها دارای دو لایه اصلی هستند:

- **یک لایه بالایی هوازی (روآب):** در این لایه، جلبک‌ها از طریق فتوسنتز، اکسیژن مورد نیاز باکتری‌های هوازی را تأمین می‌کنند که به تجزیه مواد آلی می‌پردازند.
- **یک لایه پایینی بی‌هوازی:** در کف حوضچه، جایی که نور خورشید نمی‌رسد و اکسیژن وجود ندارد، لجن ته‌نشین شده توسط باکتری‌های بی‌هوازی هضم می‌شود. فرآیندهایی مانند نیترات‌زدایی و حذف مقداری از BOD نیز در این لایه رخ می‌دهد.

انواع بر اساس موقعیت در سیستم تصفیه یا نوع فاضلاب:

- **حوضچه تثبیت فاضلاب خام (Raw Sewage Stabilization Pond):** این رایج‌ترین نوع حوضچه است که فاضلاب خام را با حداقل پیش‌تصفیه (معمولاً فقط آشغال‌گیری یا خرد کردن) مستقیماً دریافت می‌کند.
- **حوضچه اکسیداسیون (Oxidation Pond):** این حوضچه‌ها جریان‌هایی را دریافت می‌کنند که قبلاً از یک حوضچه تثبیت اولیه یا مخزن ته‌نشینی اولیه عبور کرده‌اند. آن‌ها تصفیه بیولوژیکی بیشتری، ته‌نشینی اضافی و کاهش قابل توجهی در تعداد کلیفرم‌های مدفوعی را فراهم می‌کنند.
- **حوضچه پولیشینگ (Polishing Pond):** این حوضچه‌ها جریان را از یک حوضچه اکسیداسیون یا سایر سیستم‌های تصفیه ثانویه دریافت می‌کنند. هدف اصلی آن‌ها حذف BOD5، جامدات و کلیفرم‌های مدفوعی اضافی و همچنین کاهش مقداری از مواد مغذی (مانند نیتروژن و فسفر) است تا کیفیت پساب به بالاترین حد ممکن برسد.

ب. بهره‌برداری، نگهداری و رفع عیب

مدیریت و نگهداری مناسب حوضچه‌های تثبیت برای اطمینان از عملکرد پایدار آن‌ها حیاتی است:

- **راه‌اندازی حوضچه:** شامل پر کردن تدریجی حوضچه با آب و سپس معرفی آرام فاضلاب به سیستم است.
- **بهره‌برداری روزانه:** کارهای روتین شامل کنترل موارد زیر است:
 - **کنترل کف:** از تشکیل لایه‌های ضخیم کف یا چربی روی سطح آب جلوگیری کنید، زیرا این لایه‌ها مانع ورود نور خورشید (برای فتوسنتز جلبک‌ها) و انتقال اکسیژن می‌شوند. توپ‌های چربی و کف را باید شکست و غرق کرد یا از روی سطح جمع‌آوری کرد.
 - **کنترل بو:** بوهای نامطبوع معمولاً نشان‌دهنده شرایط بی‌هوازی هستند. این مشکل را می‌توان با بازچرخانی فاضلاب یا افزودن مواد شیمیایی مانند کلر یا نیترات سدیم (که اکسیژن آزاد می‌کند) برطرف کرد.
 - **کنترل علف‌های هرز و حشرات:** علف‌های هرز در اطراف سیل‌بندها و حاشیه حوضچه باید کنترل شوند. حشراتی مانند پشه‌ها که در مناطق کم‌عمق تولید مثل می‌کنند نیز باید مهار شوند. استفاده از علف‌کش‌های مجاز یا معرفی گیاهانی مانند عدسک آبی (Duckweed) که سطح آب را می‌پوشانند و از رشد پشه‌ها جلوگیری می‌کنند، از جمله روش‌های کنترلی هستند.

- **نگهداری سیل‌بندها :** سیل‌بند‌های اطراف حوضچه باید همواره عاری از علف‌های هرز باشند. بازرسی منظم برای یافتن نشانه‌های فرسایش یا نشست آب و همچنین نگهداری از حصارها و تابلوهای هشداردهنده ضروری است.
 - **تجهیزات ورودی (Headworks) :** در صورت وجود تجهیزات پیش‌تصفیه مانند آشغال‌گیرها یا حوضچه‌های شن و ماسه، باید آن‌ها را به طور منظم نگهداری کرد.
 - **عملکرد غیرعادی :** این شامل مواردی مانند بارهای ناگهانی (Shock Loads) از نظر آلی، هیدرولیکی یا سمی، بوهای شدید، رشد بیش از حد علف‌های هرز/حشرات و مشکلات مربوط به سیل‌بندها است.
 - **عملکرد دسته‌ای / تخلیه کنترل شده (Batch Operation / Controlled Discharge) :** برخی از حوضچه‌ها به صورت دسته‌ای عمل می‌کنند، به این معنی که پر می‌شوند، زمان کافی برای تصفیه در آن‌ها فراهم می‌شود و سپس به طور کنترل شده تخلیه می‌شوند. زمان‌بندی تخلیه به کیفیت پساب خروجی و الزامات مجوزهای زیست‌محیطی بستگی دارد.
 - **خاموش کردن حوضچه :** در صورت نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی یا لایروبی، ممکن است نیاز باشد حوضچه از سرویس خارج شود. این کار شامل تغییر مسیر جریان ورودی، آبگیری و سپس تمیز کردن لجن‌های ته‌نشین شده است.
 - **استراتژی عملیاتی :** تصمیم‌گیری در مورد نحوه بهره‌برداری باید با در نظر گرفتن عواملی مانند ویژگی‌های فاضلاب ورودی، کیفیت پساب مورد نیاز، شرایط آب و هوایی منطقه و سطح فعالیت بیولوژیکی در حوضچه صورت گیرد.
 - **نمونه‌برداری و آزمایش :** جمع‌آوری منظم نمونه از فاضلاب ورودی و خروجی حوضچه ضروری است. آزمایش‌ها می‌توانند شامل DO، pH، دما، BOD، جامدات معلق، مواد مغذی (مانند نیترژن و فسفر) و باکتری‌های کلiform باشند. تجزیه و تحلیل این داده‌ها به ارزیابی عملکرد حوضچه و شناسایی سریع مشکلات کمک می‌کند.
 - **رفع عیب :** برای هر مشکل خاص، راهنماهای عیب‌یابی وجود دارد که نشانگرهای مشکل (مانند تغییر رنگ آب، بو، سطوح DO/pH غیرعادی، نوع جلبک‌ها (را همراه با علل احتمالی و اقدامات اصلاحی توضیح می‌دهند).
- ج. محاسبات کلیدی (نرخ بارگذاری و زمان ماند)**
- عملکرد حوضچه‌های تثبیت به میزان فاضلاب وارد شده (بارگذاری) و مدت زمانی که فاضلاب در حوضچه می‌ماند (زمان ماند) بستگی دارد:
- **بارگذاری هیدرولیکی (Hydraulic Loading) :** میزان جریان فاضلاب اعمال شده به ازای هر واحد سطح از حوضچه در روز است. معمولاً با واحدهای متر مکعب در روز بر هکتار ($\text{m}^3/\text{day}/\text{hectare}$) یا میلی‌متر در روز (mm/day) بیان می‌شود. (توجه: ۱ هکتار = ۱۰۰۰۰ متر مربع)
 - hectare مساحت / m^3/day جریان = $\text{m}^3/\text{day}/\text{hectare}$ بارگذاری هیدرولیکی
 - **مثال:** یک حوضچه روزانه ۸۰۰۰ متر مکعب آب با مساحت ۶/۵ هکتار دریافت می‌کند.
 - $8000 \text{ m}^3/\text{day} / 6.5 \text{ hectare} = 1230.77 \text{ m}^3/\text{day}/\text{hectare}$ = بارگذاری هیدرولیکی

- برای تبدیل به میلی‌متر در روز:

$$1230.77 \text{ m}^3/\text{day/hectare} \times (1000 \text{ mm/m}) / (10000 \text{ m}^2/\text{hectare}) = 123.077 \text{ m/day}.$$

• **بارگذاری آلی (Organic Loading - BOD Loading):** مقدار BOD اعمال شده به ازای هر واحد سطح از حوضچه در روز است. معمولاً به صورت کیلوگرم BOD در روز بر هکتار ($\text{kg BOD/day/hectare}$) بیان می‌شود.

- kg/m^3 به mg/L برای تبدیل $[\text{BOD (mg/L)} \times \text{جریان (m}^3/\text{day)}] / 1000 = \text{BOD (kg/day)}$ بار آلی
- $\text{BOD (kg/day/hectare)}$ / مساحت (hectare) = بارگذاری آلی ($\text{kg BOD/day/hectare}$)
- مثال: یک حوضچه روزانه ۷۵۰۰ متر مکعب جریان با ۲۲۰ mg/L BOD دریافت می‌کند. مساحت آن ۶/۵ هکتار است.

- $\text{BOD (kg/day)} = [220 \text{ mg/L} \times 7500 \text{ m}^3/\text{day}] / 1000 = 1650 \text{ kg BOD/day}.$
- $\text{BOD (kg/day/hectare)} = 1650 \text{ kg BOD/day} / 6.5 \text{ hectare} = 253.85 \text{ kg BOD/day/hectare}.$

• **بارگذاری جمعیتی (Population Loading):** تعداد افرادی که به ازای هر واحد سطح از حوضچه خدمات می‌دهند. معمولاً به صورت نفر بر هکتار (people/hectare) بیان می‌شود و بیشتر برای جوامع کوچکتر کاربرد دارد.

- $\text{BOD (kg/day/hectare)} = \text{بارگذاری جمعیتی (people/hectare)} \times \text{مساحت (hectare)}$

- مثال: یک حوضچه ۲/۲ هکتاری به جمعیتی ۱۹۰۰ نفری خدمات می‌دهد.

- $\text{BOD (kg/day/hectare)} = 1900 \text{ people} / 2.2 \text{ hectare} = 863.64 \text{ people/hectare}.$

• **زمان ماند هیدرولیکی (Hydraulic Retention Time - HRT):** زمان نظری است که فاضلاب در حوضچه می‌ماند. این مقدار با تقسیم حجم حوضچه بر نرخ جریان ورودی محاسبه می‌شود. دقت کنید که واحدها باید با یکدیگر سازگار باشند (مثلاً متر مکعب و متر مکعب در روز).

- $\text{HRT (روز)} = \text{حجم (m}^3\text{)} / \text{نرخ جریان (m}^3/\text{day)}$

- مثال: یک گودال اکسیداسیون با حجم ۱۶۰'۰۰۰ متر مکعب، روزانه ۱۸۵'۰۰۰ متر مکعب آب دریافت می‌کند.

- $\text{HRT (روز)} = 160,000 \text{ m}^3 / 185,000 \text{ m}^3/\text{day} = 0.86 \text{ day}.$
- برای تبدیل به ساعت: $0.86 \text{ day} \times 24 \text{ hrs/day} = 20.64 \text{ hours}.$

هر یک از این سه فرآیند تصفیه بیولوژیکی – فیلترهای چکنده، RBCها و حوضچه‌های تثبیت – رویکردها و مزایای خاص خود را دارند. انتخاب روش مناسب بستگی به عوامل متعددی از جمله حجم فاضلاب، کیفیت فاضلاب ورودی، استانداردهای پساب خروجی، در دسترس بودن زمین، هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری و شرایط آب و هوایی دارد. با درک عمیق‌تر این روش‌ها، می‌توانیم تصمیمات بهتری برای مدیریت پایدار فاضلاب و حفظ محیط زیست بگیریم.

فصل پنجم

مدیریت لجن و جامدات در تصفیه خانه فاضلاب

www.daneshemohit.ir

مدیریت جامدات، که در صنعت تصفیه فاضلاب با نام‌های لجن یا بیوسالیدز نیز شناخته می‌شود، قلب تپنده و در عین حال یکی از پیچیده‌ترین و پرهزینه‌ترین جنبه‌های کل فرآیند تصفیه فاضلاب است. فلسفه وجودی یک تصفیه‌خانه فاضلاب، حذف کامل جامدات و کاهش چشمگیر اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD) از آب است تا پساب خروجی با حداقل آسیب به محیط زیست، به چرخه طبیعت بازگردد. اما آنچه پس از این فرآیند از آب جدا می‌شود، دیگر آب خالص نیست؛ مخلوطی غلیظ از مواد جامد و زائد است که ما آن را باقیمانده‌های فرآیندی، لجن یا بیوسالیدز می‌نامیم.

هدف اصلی و استراتژیک در مدیریت لجن، حداکثر جداسازی آب از این توده‌های جامد است. چرا؟ چون آب، وزن و حجم زیادی به لجن می‌دهد و همین وزن و حجم است که هزینه‌های حمل و نقل، تصفیه و دفع را سرسام‌آور می‌کند. هرچه بتوانیم آب بیشتری را از لجن جدا کنیم، حجم آن کمتر می‌شود و می‌توانیم آن را با صرفه اقتصادی بیشتری دفع یا حتی برای مصارف مفید، دوباره استفاده کنیم. جالب است بدانید که در یک تصفیه‌خانه معمولی، هزینه‌های مربوط به تصفیه، نگهداری و دفع لجن می‌تواند به بیش از نیمی از کل هزینه‌های عملیاتی برسد.

تولید لجن: منشاءهای متنوع

لجن فاضلاب محصول مراحل مختلف تصفیه است، که هر کدام سهم و نوع خاصی از جامدات را تولید می‌کنند:

- **تصفیه مقدماتی:** غربالگری و حذف دانه‌های شن و ماسه اولین خط دفاعی تصفیه‌خانه، مرحله مقدماتی است. در اینجا، تجهیزاتی مانند صافی‌ها و حوضچه‌های آشغال‌گیر (grit chambers)، زباله‌های درشت و ناخواسته را از فاضلاب خام جدا می‌کنند. فکر کنید به دستمال کاغذی، قوطی‌های خالی، تکه‌های چوب، شن، ماسه، خرده‌سنگ، براده‌های فلز، پوست تخم‌مرغ و حتی تفاله قهوه! هدف اصلی از حذف این مواد، جلوگیری از آسیب رساندن به پمپ‌ها و تجهیزات حساس در مراحل بعدی تصفیه و همچنین جلوگیری از گرفتگی لوله‌ها و مخازن است. این مواد جدا شده (به نام آشغال‌های غربال شده و شن) معمولاً مستقیماً به محل دفن زباله فرستاده می‌شوند. حوضچه‌های آشغال‌گیر به طور خاص طراحی شده‌اند تا هم مواد پوسیدنی و هم غیرقابل پوسیدنی را به سرعت ته‌نشین و حذف کنند.
- **تصفیه اولیه:** لجن خام ته‌نشین شده و کف‌های سطحی پس از مرحله مقدماتی، فاضلاب وارد ته‌نشین‌کننده‌های اولیه (Primary Clarifiers) می‌شود. در اینجا، با کاهش سرعت جریان، ذرات جامد سنگین‌تر به دلیل نیروی گرانش به کف مخزن ته‌نشین می‌شوند و توده‌ای غلیظ به نام لجن اولیه یا لجن خام را تشکیل می‌دهند. همزمان، مواد سبک‌تر مانند روغن، چربی و کف به سطح آب شناور شده و با استفاده از اسکیمرها (سطح‌روب‌ها) جمع‌آوری می‌شوند. لجن اولیه خام معمولاً بوی نامطبوعی دارد و مقدار زیادی آب را در خود نگه می‌دارد. کف‌های جمع‌آوری شده معمولاً به عنوان لجن طبقه‌بندی نمی‌شوند اما نیاز به دفع ایمن و مناسب محیط زیست دارند.
- **تصفیه ثانویه:** زیست‌توده (بیومس) حاصل از فعالیت باکتری‌ها مرحله تصفیه ثانویه، قلب بیولوژیکی تصفیه‌خانه است. در این مرحله، میکروارگانیسم‌ها (عمدتاً باکتری‌ها) مواد آلی محلول و معلق باقی‌مانده در فاضلاب را مصرف کرده و آن‌ها را به توده‌های زیستی (سلول‌های باکتری) تبدیل می‌کنند. این توده‌های زیستی به شکل فله‌های بیولوژیکی (مانند لجن فعال) یا رشدهای لجن (مانند بیوفیلرها در فیلترهای قطره‌ای) ظاهر می‌شوند. سپس، این جامدات بیولوژیکی با استفاده از ته‌نشین‌کننده‌های ثانویه از آب جدا می‌شوند. حجم این جامدات بیولوژیکی قابل توجه است و می‌تواند تا ۵۰ درصد از کل بار آلی BOD یا COD ورودی به بخش بیولوژیکی تصفیه‌خانه را تشکیل دهد.
- **تصفیه شیمیایی:** جامدات حاصل از واکنش‌های شیمیایی در برخی از تصفیه‌خانه‌ها، مواد شیمیایی خاصی مانند نمک‌های آهن یا آلومینیوم برای کمک به فرآیند انعقاد (Coagulation) و لخته‌سازی (Flocculation) اضافه می‌شوند. این مواد شیمیایی با آلاینده‌ها واکنش داده و رسوباتی را تشکیل می‌دهند که خود به عنوان جامدات اضافی به حجم لجن اضافه می‌شوند.

یک نکته حیاتی این است که در ابتدا، لجن تنها ۳ تا ۷ درصد ماده جامد دارد و بقیه آن آب است. اما این مقدار آب پس از جداسازی از فاضلاب، به بیش از ۹۵ تا ۹۹ درصد می‌رسد! همین محتوای بالای آب است که لجن را حجیم، سنگین و پرهزینه می‌کند و چالش اصلی مدیریت لجن از همینجا نشأت می‌گیرد.

غلظ سازی لجن (Thickening): اولین قدم برای کاهش حجم

همانطور که گفته شد، لجن خروجی از ته‌نشین‌کننده‌ها بسیار رقیق و پر از آب است. غلیظ‌سازی لجن، اولین و حیاتی‌ترین مرحله برای کاهش حجم لجن است. در این فرآیند، بخشی از آب از لجن جدا می‌شود تا غلظت جامدات آن افزایش یابد. این کار باعث می‌شود فرآیندهای بعدی که بر روی لجن انجام می‌شوند (مانند هضم یا آبگیری)، با کارایی و صرفه اقتصادی بیشتری صورت پذیرند. به عنوان مثال، غلظت جامدات در لجن خروجی از ته‌نشین‌کننده‌ها معمولاً ۱ تا ۳ درصد است، اما با غلیظ‌سازی می‌توان آن را به ۷ تا ۱۰ درصد یا حتی بیشتر رساند.

سه روش اصلی برای غلیظ‌سازی لجن وجود دارد:

۱. غلیظ‌کننده‌های ثقلی (Gravity Thickeners):

- **اصل کار:** این روش بر اساس نیروی گرانش عمل می‌کند و برای لجن اولیه (لجن حاصل از ته‌نشینی اولیه) بسیار مؤثر است. لجن به آرامی وارد یک مخزن بزرگ و عمیق می‌شود. ذرات جامد سنگین‌تر به تدریج ته‌نشین شده و یک لایه غلیظ از لجن را در کف مخزن تشکیل می‌دهند. وزن این لایه متراکم، باعث فشرده شدن بیشتر ذرات و خروج آب از بین آن‌ها می‌شود.
- **خروجی:** آب شفاف که از روی لجن غلیظ شده بالا می‌آید به نام رویی یا سوپرناتانت به ابتدای تصفیه‌خانه بازگردانده می‌شود تا دوباره تصفیه شود. لجن غلیظ شده به نام از کف مخزن خارج می‌شود. اپراتورها با تنظیم ضخامت لایه لجن، می‌توانند درصد جامدات در لجن خروجی را کنترل کنند.
- **کارایی:** معمولاً لجن اولیه را به غلظت ۸-۱۰ درصد جامدات و مخلوط لجن اولیه و ثانویه را به غلظت ۴-۹ درصد جامدات می‌رساند.
- **عوامل مؤثر:** نوع لجن، وضعیت اولیه لجن، دما، عمق لایه لجن، بار جامدات ورودی، زمان ماند جامدات و زمان ماند هیدرولیکی بر عملکرد این سیستم تأثیر می‌گذارد.

۲. غلیظ‌کننده‌های شناورسازی (Flotation Thickeners - به ویژه DAF):

- **اصل کار:** این روش برای لجن‌های زائد حاصل از فرآیندهای بیولوژیکی با رشد معلق (مانند لجن فعال زائد) کارآمدترین است. در این فرآیند، مایع شفاف بازیافتی از خود غلیظ‌کننده، تحت فشار شدید با هوا مخلوط می‌شود تا هوای بیشتری را در خود حل کند. سپس این جریان پر فشار و مملو از هوا، گاهی اوقات همراه با مواد شیمیایی کمکی (مانند پلیمرها)، با لجن ورودی مخلوط می‌شود. هنگامی که این مخلوط وارد مخزن غلیظ‌کننده DAF می‌شود، فشار ناگهان آزاد می‌شود. این کاهش فشار باعث می‌شود هوای محلول به صورت حباب‌های ریز از مایع خارج شود. این حباب‌ها به ذرات جامد لجن چسبیده و آن‌ها را به سمت سطح آب بالا می‌برند و یک لایه غلیظ به نام کیک شناور را تشکیل می‌دهند.
- **خروجی:** با افزایش ورودی لجن و چسبیدن حباب‌ها، کیک شناور ضخیم‌تر می‌شود و آب از بین آن خارج می‌شود. کیک شناور از سطح جمع‌آوری شده و آب شفاف باقی‌مانده به جریان فاضلاب بازگردانده می‌شود.
- **کارایی:** معمولاً لجن فعال زائد (WAS) را با افزودن پلیمر به ۳-۵ درصد جامدات و بدون پلیمر به ۲-۴ درصد جامدات می‌رساند.
- **عوامل مؤثر:** اندازه حباب‌ها، بار جامدات، ویژگی‌های لجن، نوع و دوز مواد شیمیایی بر عملکرد این سیستم تأثیرگذارند.

۳. متمرکزکننده‌های جامدات (Solids Concentrators - مانند غلیظ‌کننده‌های تسمه‌ای):

- **اصل کار:** این سیستم‌ها شامل یک مخزن اختلاط برای لجن، تجهیزات ذخیره و اندازه‌گیری مواد شیمیایی و یک تسمه متحرک متخلخل هستند. لجن پس از تیمار شیمیایی، روی تسمه پخش می‌شود. تسمه در حین حرکت، لجن را به آرامی هم می‌زند و آب از سوراخ‌های ریز تسمه به بیرون زهکشی می‌شود.

- **کاربرد :** این نوع غلیظکننده اغلب در تاسیساتی با فضای محدود استفاده می‌شود.

هضم/تثبیت لجن: از بین بردن بو و بیماری زها

پس از غلیظسازی، لجن هنوز حاوی مقدار زیادی مواد آلی ناپایدار است که می‌توانند بوی نامطبوع ایجاد کنند و حاوی عوامل بیماری‌زا باشند. هدف از هضم لجن که اغلب به آن تثبیت لجن نیز می‌گویند این است که حجم لجن را بیشتر کاهش دهیم، مواد آلی آن را به ترکیبات پایدارتر تبدیل کنیم و عوامل بیماری‌زا (پاتوژن‌ها) را از بین ببریم تا بتوانیم با اطمینان و ایمنی آن را دفع یا دوباره استفاده کنیم. لجن خام تصفیه نشده به دلیل بوی زننده و پتانسیل بیماری‌زایی، باید قبل از دفع تثبیت شود.

هضم فرآیندی بیوشیمیایی است که در آن میکروارگانیسم‌ها، مواد آلی پیچیده را به مواد ساده‌تر، پایدارتر و بی‌بو تجزیه می‌کنند. این فرآیند باعث کاهش جرم لجن، از بین بردن پاتوژن‌ها و آسان‌تر شدن آگیری در مراحل بعدی می‌شود. بیوسالیدزهایی که به خوبی هضم شده‌اند، بوی خاکی مطبوعی دارند و از نظر ظاهر شبیه به خاک غنی گلدان هستند. تثبیت لجن می‌تواند در دو حالت هوازی (با حضور اکسیژن) یا بی‌هوازی (در غیاب اکسیژن) انجام شود:

۱. هضم هوازی (Aerobic Digestion) :

- **کاربرد :** عمدتاً در تصفیه‌خانه‌های کوچک‌تر و سیستم‌های پکیج لجن فعال استفاده می‌شود.
- **اصل کار :** تجهیزات اصلی شامل یک مخزن هوادهی (به نام هضم‌کننده)، سیستم‌های هوادهی (مانند دفیوزرهای حباب‌ساز یا همزن‌های مکانیکی) و تجهیزات برای حذف جامدات و رویی است. لجن ورودی به هضم‌کننده اضافه شده و به طور مداوم هوادهی می‌شود تا غلظت اکسیژن محلول (DO) حداقل ۱ میلی‌گرم در لیتر حفظ شود و لجن به خوبی مخلوط بماند. زمان ماند معمولاً حدود ۲۰ روز است.
- **فرآیند :** به طور دوره‌ای، هوادهی متوقف می‌شود تا جامدات ته‌نشین شوند و سپس لجن هضم شده و رویی به میزان مورد نیاز خارج می‌شوند.
- **کنترل فرآیند :** پایش پارامترهایی مانند قلیانیت، pH، درصد جامدات و درصد جامدات فرار (VSS) در لجن ورودی و خروجی بسیار مهم است.
- **کارایی :** معمولاً منجر به ۴۰ تا ۵۰ درصد کاهش در جامدات فرار می‌شود، که نشان‌دهنده از بین رفتن مواد آلی است.
- **عملیات و نگهداری :** شامل پمپاژ لجن، مشاهدات بصری، نمونه‌برداری و آزمایش منظم، انجام محاسبات کنترل فرآیند، نگهداری عمومی تجهیزات و حفظ پاکیزگی محیط است.

۲. هضم بی‌هوازی (Anaerobic Digestion) :

- **کاربرد :** رایج‌ترین روش هضم در اکثر تصفیه‌خانه‌های بزرگ فاضلاب شهری.
- **تجهیزات :** شامل یک هضم‌کننده بی‌هوازی مهر و موم شده (با سقف شناور یا ثابت)، پمپ‌های لجن، تجهیزات گرمایشی (مانند مبدل‌های حرارتی، بخاری‌ها و پمپ‌ها برای حفظ دمای بهینه) و تجهیزات اختلاط برای گردش لجن است. لوازم جانبی شامل سیستم‌های ذخیره‌سازی گاز (متان تولید شده)، تجهیزات تمیزکننده و تجهیزات ایمنی (با توجه به وجود گازهای قابل اشتعال) هستند.
- **اصل کار :** مواد آلی در دو مرحله اصلی و توسط دو گروه از باکتری‌ها در غیاب اکسیژن تجزیه می‌شوند :
 - **مرحله اول (اسیدسازی) :** باکتری‌های اسیدساز (Facultative bacteria) قندها، نشاسته‌ها و کربوهیدرات‌های پیچیده را به اسیدهای چرب فرار (مانند اسید استیک)، دی‌اکسید کربن، سولفید هیدروژن و سایر گازها، به همراه مقدار جامدات پایدارتر، تبدیل می‌کنند.

▪ **مرحله دوم (متان سازی):** باکتری های متان ساز (Anaerobic bacteria) اسیدهای فرار تولید شده در مرحله اول را مصرف کرده و آن ها را به ارگانیزم های جدید، جامدات پایدارتر و مهمتر از همه، گاز متان تبدیل می کنند. گاز متان یک سوخت زیستی با ارزش است که می تواند برای تولید گرما یا برق در تصفیه خانه استفاده شود.

- **پیگیری:** این فرآیند می تواند در یک مخزن واحد یا در دو مخزن پشت سر هم (سری) انجام شود. در سیستم های دو مرحله ای، رویی از مرحله دوم خارج می شود. جامدات هضم شده نیز به طور دوره ای برای آبیگری یا دفع نهایی خارج می شوند.
- **کنترل فرآیند:** پایش دقیق سطوح بی کربنات و pH برای عملکرد پایدار هضم کننده بی هوازی حیاتی است. نسبت اسیدهای فرار به قلیانیت یک شاخص کلیدی برای سلامت هضم کننده است.
- **کارایی:** معمولاً منجر به ۴۰ تا ۶۰ درصد کاهش در جامدات فرار می شود.
- **عملیات و نگهداری:** مشابه هضم هوازی است، اما با تاکید بیشتر بر پایش پارامترهای حیاتی مانند pH، نسبت اسیدهای فرار به قلیانیت و بروز کف. مشکلات رایج مانند pH پایین/اسیدهای فرار بالا یا کف خاکستری نیازمند اقدامات اصلاحی فوری مانند افزودن قلیانیت (با استفاده از لجن هضم شده یا آهک)، بهبود کنترل دما، اختلاط بهتر، حذف مواد سمی، کاهش نرخ تغذیه و تمیز کردن هضم کننده است.

سایر روش های تثبیت: علاوه بر هضم هوازی و بی هوازی، فرآیندهای دیگری نیز برای تثبیت لجن وجود دارد که شامل کمپوست سازی، تثبیت با آهک (lime stabilization)، اکسیداسیون هوای مرطوب (wet air oxidation) و اکسیداسیون شیمیایی (مانند اکسیداسیون با کلر) می شوند. هر کدام از این روش ها مزایا و معایب خاص خود را دارند و بسته به اندازه تصفیه خانه، نوع لجن و مقررات محلی انتخاب می شوند.

آبیگری لجن (Dewatering): تبدیل به کیک جامد

پس از غلیظ سازی و هضم، لجن هنوز حاوی مقدار زیادی آب است که جابجایی و دفع آن را دشوار و پرهزینه می کند. آبیگری لجن فرآیندی است که با حذف بخش عمده ای از آب، قوام لجن را از حالت مایع یا نیمه مایع به یک جامد مرطوب (کیک لجن) تغییر می دهد. هدف اصلی این مرحله، کاهش چشمگیر رطوبت و حجم لجن برای کاهش هزینه های دفع و تسهیل استفاده مجدد از آن است. آبیگری تأثیر زیادی بر اقتصاد، عملکرد و ظرفیت مورد نیاز مراحل بعدی دارد.

تکنیک ها و دستگاه های رایج آبیگری شامل موارد زیر هستند:

۱. بسترهای خشک کننده شنی (Sand Drying Beds)

- **قدیمی ترین روش:** این روش یکی از قدیمی ترین و ساده ترین تکنیک های آبیگری است که عموماً برای بیوسالیدهای خوب هضم شده استفاده می شود.
- **ساختار:** شامل لایه هایی از شن و ماسه و سنگریزه است که بر روی یک سیستم زهکشی قرار گرفته اند.
- **اصل کار:** لجن (معمولاً با عمق ۸ تا ۱۲ اینچ) روی بستر پخش می شود و آب آن به طور طبیعی از طریق نیروی گرانش از لایه های شن و ماسه عبور کرده و زهکشی می شود. همزمان، تبخیر طبیعی نیز به خشک شدن لجن کمک می کند. گاهی اوقات برای تسریع فرآیند، از سیستم های وکیوم نیز استفاده می شود.
- **زمان خشک شدن:** بسته به شرایط آب و هوایی (دما، رطوبت، باد)، زمان خشک شدن می تواند از چند هفته تا چند ماه متغیر باشد.
- **خروجی:** پس از آبیگری، محتوای جامدات لجن بین ۲۰ تا ۳۵ درصد خواهد بود و حجم آن تا ۸۵ درصد کاهش می یابد.

- **عملیات و نگهداری :** نیاز به آماده سازی بستر (حذف زباله، شن‌کشی محیط، آب‌بندی منافذ) قبل از اعمال لجن دارد. لجن باید به آرامی اعمال شود. پس از رسیدن به درصد جامدات مطلوب (۴۰-۶۰٪)، بیوسالیدزهای خشک شده، اغلب به صورت دستی، از بستر جمع‌آوری می‌شوند تا به سیستم زهکشی زیرین آسیب نرسد. پایش زمان خشک شدن و میزان رطوبت بیوسالیدز حیاتی است. مشکلات رایج شامل کندی خشک شدن، عدم ترک‌خوردگی کیک لجن، دشواری در حذف لجن، حضور مگس و بوهای نامطبوع است. علل می‌تواند شامل کیفیت پایین لجن، گرفتگی بسترها، زهکشی ضعیف، آب و هوای نامناسب، هضم ناکافی لجن یا اعمال لجن خام/نیمه هضم شده باشد. اقدامات اصلاحی شامل بهبود فرآیند هضم، افزودن آهک، حذف سریع لجن و استفاده از حشره‌کش‌ها است.

۲. فیلترهای وکیوم دوار (Rotary Vacuum Filters)

- **اصل کار :** این دستگاه‌ها با استفاده از نیروی وکیوم (خلأ) و یک درام چرخان که با پارچه فیلتر پوشانده شده است، جامدات را از مایع جدا می‌کنند. درام به صورت جزئی در یک مخزن حاوی لجن غوطه‌ور است.
- **فرآیند :** لجن قبل از ورود به دستگاه، معمولاً با مواد شیمیایی (مثلاً پلیمر) تیمار می‌شود. با چرخش درام، وکیوم در داخل درام ایجاد شده و لجن به پارچه فیلتر چسبیده و آب از آن خارج می‌شود. جامدات به صورت یک لایه (کیک) روی پارچه جمع می‌شوند. با ادامه چرخش درام، وکیوم آب بیشتری را از کیک خارج می‌کند و در نهایت، کیک آبگیری شده توسط یک تیغه از درام جدا می‌شود.
- **خروجی :** به غلظت جامدات ۱۵ تا ۴۰ درصد دست می‌یابد.
- **عملیات و نگهداری :** اپراتور باید به سرعت درام، میزان جمع‌آوری لجن، ضخامت و ظاهر کیک، نرخ تغذیه مواد شیمیایی، عمق لجن در مخزن و عملکرد کلی دستگاه توجه کند. نمونه‌برداری و آزمایش از جامدات ورودی، کیفیت فیلتر شده (Filtrate) و جامدات کیک ضروری است. مشکلات رایج شامل کدورت بالای فیلتر شده، بازیابی پایین جامدات، مشکلات ضخامت کیک، رطوبت زیاد کیک و عدم چسبیدن کیک به فیلتر است. علل به وضعیت پارچه فیلتر، شرایطسازی شیمیایی لجن، مسائل مربوط به وکیوم، سرعت درام، غلظت جامدات لجن و عملکرد همزن در مخزن لجن مربوط می‌شود. اقدامات اصلاحی شامل تمیز کردن/جایگزینی پارچه فیلتر، تنظیم مجدد پارامترهای عملیاتی و بهینه‌سازی دوز مواد شیمیایی است.

۳. فیلتراسیون فشاری (Pressure Filtration)

- **پرس‌های فیلتر تسمه‌ای (Belt Filter Presses) :** این دستگاه‌ها از یک یا چند تسمه متحرک و متخلخل استفاده می‌کنند. لجن تیمار شده با مواد شیمیایی روی تسمه اعمال می‌شود، هم زده می‌شود و تحت فشار مکانیکی (فشار غلتک‌ها) آب از طریق تسمه خارج می‌شود.
- **پرس‌های صفحه‌ای و فریمی (Plate and Frame Presses) :** این پرس‌ها از مجموعه‌ای از صفحات و فریم‌ها تشکیل شده‌اند که با پارچه فیلتر پوشانده شده‌اند و محفظه‌هایی را برای جمع‌آوری لجن ایجاد می‌کنند. لجن شرطی شده با فشار بالا به این محفظه‌ها پمپ می‌شود و آب از طریق پارچه فیلتر عبور می‌کند و کیک لجن در محفظه‌ها باقی می‌ماند. این پرس‌ها می‌توانند به غلظت جامدات ۳۵ تا ۴۵ درصد دست یابند.

۴. سانتریفیوژها (Centrifuges) :

- **اصل کار :** سانتریفیوژها از نیروی گریز از مرکز بسیار بالا برای جداسازی جامدات از مایع استفاده می‌کنند. لجن به داخل یک کاسه که با سرعت بالا می‌چرخد، تغذیه می‌شود. به دلیل نیروی گریز از مرکز، جامدات سنگین‌تر به سمت دیواره‌های کاسه پرتاب شده و از مایع به نام سانترات جدا می‌شوند.
- **تجهیزات :** نیاز به پمپ‌های قوی برای تغذیه لجن و گاهی اوقات نیز به سیستم‌های تزریق مواد شیمیایی برای بهبود جداسازی نیاز دارد.
- **خروجی :** بسته به نوع سانتریفیوژ و ویژگی‌های لجن، می‌توانند به غلظت جامدات ۲۰ تا ۴۰ درصد دست یابند.

محاسبات مهم در آبیگری لجن:

- بازیابی جامدات (%) : نشان می‌دهد چند درصد از جامدات ورودی در کیک آبیگری شده جمع‌آوری شده‌اند.
- بازده فیلتر (فیلتر و کیوم دوار) : مقدار جامدات خشک تولید شده در هر واحد سطح فیلتر در زمان مشخص.
- نرخ تغذیه پرس فیلتر تسمه‌ای : سرعت ورود لجن به پرس را بر اساس مقدار کل لجن و ساعات کارکرد محاسبه می‌کند.
- نرخ بارگذاری جامدات (پرس فیلتر تسمه‌ای) : مقدار جامدات بارگذاری شده روی تسمه در هر واحد زمان.

نگاهی جامع به محاسبات آبیگری لجن

حالا که با اهمیت و روش‌های آبیگری لجن آشنا شدیم، بیا ببینیم نگاهی دقیق‌تر به محاسبات کلیدی این فرآیند بندازیم. این محاسبات برای ارزیابی عملکرد سیستم، بهینه‌سازی فرآیند و کنترل هزینه‌ها ضروری هستند.

1. درصد بازیابی جامدات (Solids Recovery %)

این محاسبه نشان می‌دهد که چه درصدی از کل جامدات خشک موجود در لجن ورودی (خوراک) به دستگاه آبیگری، در نهایت در کیک لجن خروجی جمع‌آوری شدند. به عبارت دیگر، این شاخص کارایی دستگاه را در حفظ جامدات و جلوگیری از از دست رفتن آن‌ها در جریان مایع خروجی (مثل فیلتر شده یا سانترات) نشان می‌دهد.

چرا مهمه؟

- کارایی دستگاه : درصد بازیابی بالا نشان دهنده عملکرد عالی دستگاه آبیگری است.
- کیفیت پساب : اگر بازیابی پایین باشد، یعنی مقدار زیادی جامدات به جریان آب باز می‌گردد که می‌تواند بار BOD (اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی) و TSS (جامدات معلق کل) رو روی فرآیندهای تصفیه اولیه یا ثانویه زیاد نماید، و این خودش می‌تواند به مشکلات عملیاتی و هزینه‌های بیشتر منجر شود.
- مدیریت مواد مغذی : در صورت استفاده از لجن برای کاربردهای کشاورزی، از دست دادن جامدات یعنی از دست دادن مواد مغذی ارزشمند.

فرمول:

درصد بازیابی جامدات = (جرم جامدات در کیک لجن (خروجی) تقسیم بر جرم جامدات در لجن ورودی (خوراک)) ضرب در ۱۰۰

جرم جامدات معمولاً بر حسب کیلوگرم بر ساعت (kg/hr) یا کیلوگرم بر روز (kg/day) بیان می‌شود.

نحوه محاسبه "جرم جامدات" در هر جریان:

- جرم جامدات در لجن ورودی (خوراک): [kg/hr]
 - جرم جامدات در لجن ورودی = دبی حجمی لجن (متر مکعب بر ساعت) × چگالی لجن (کیلوگرم بر متر مکعب) × (درصد جامدات کل در لجن ورودی تقسیم بر ۱۰۰)
 - دبی حجمی لجن (m³/hr) : معمولاً بر حسب متر مکعب در ساعت انداز مگیری میشه.
 - چگالی لجن (kg/m³) : برای لجن رقیق، میشه اون رو تقریباً برابر با چگالی آب (۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب) در نظر گرفت.
 - درصد جامدات کل : درصد جامدات در لجن ورودی (به صورت عدد، مثلاً اگر ۲٪ باشه، از عدد ۲ استفاده میشه و در فرمول بر ۱۰۰ تقسیم می‌شود).

- **جرم جامدات در کیک لجن (خروجی): [kg/hr]**
 - **جرم جامدات در کیک لجن** = نرخ تولید کیک لجن (کیلوگرم بر ساعت) × (درصد جامدات کل در کیک لجن تقسیم بر ۱۰۰)
 - **نرخ تولید کیک لجن (kg/hr)**: این مقدار رو میشه با وزن کردن کیک تولید شده در یک دوره زمانی مشخص اندازه گیری کرد.
 - **درصد جامدات کل در کیک لجن**: درصد جامدات در کیک آبیگری شده (مثلاً اگر ۲۰٪ باشه، از عدد ۲۰ استفاده می شود).

مثال ۱: فرض کنید یک دستگاه آبیگری لجن با نرخ ۱۰ متر مکعب بر ساعت (m^3/hr) لجن با ۲٪ جامدات کل تغذیه میشه. چگالی لجن رو ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر بگیرید. نرخ تولید کیک لجن اون ۲۰۰ کیلوگرم بر ساعت (kg/hr) با ۲۰٪ جامدات کل است.

۱. **محاسبه جرم جامدات در لجن ورودی: (kg/hr)**
 - $10 (m^3/hr) \times 1000 (kg/m^3) \times (2 / 100) = 200$ جرم جامدات در لجن ورودی
۲. **محاسبه جرم جامدات در کیک لجن: (kg/hr)**

- **جرم جامدات در کیک لجن** = ۲۰۰ کیلوگرم بر ساعت (نرخ تولید کیک) × ۲۰٪ = ۴۰ کیلوگرم بر ساعت

۳. **محاسبه درصد بازیابی جامدات: (% Solids Recovery)**
 - درصد بازیابی جامدات = (۴۰ کیلوگرم بر ساعت / ۲۰۰ کیلوگرم بر ساعت) × ۱۰۰ = ۲۰٪
 - **نکته:** در این مثال، درصد بازیابی (۲۰٪) خیلی پایین است که نشان می دهد بخش عمده ای از جامدات در جریان فیلتر شده از دست رفته اند. در عمل، این درصد باید خیلی بالاتر (معمولاً بالای ۹۰-۹۵٪) باشه تا سیستم کارآمد به حساب بیاید.

2. بازده فیلتر - (Filter Yield) مخصوص فیلترهای وکیوم دوار و پرس های فیلتر

این شاخص، کارایی دستگاه های فیلتراسیون (مثل فیلترهای وکیوم دوار یا پرس های فیلتر) رو بر اساس مقدار جامدات خشک تولید شده در هر واحد سطح فیلتر در واحد زمان اندازه گیری می کند. این معیار به ما کمک می کند تا ظرفیت عملیاتی دستگاه رو بسنجیم و عملکرد اون رو با ظرفیت طراحی شده مقایسه کنیم.

چرا مهمه؟

- **ارزیابی ظرفیت:** نشون میده که دستگاه چقدر جامدات رو میتونه در یک زمان مشخص از یک سطح مشخص از فیلتر جدا نماید.
- **بهینه سازی عملیات:** با تغییر پارامترهایی مثل سرعت چرخش درام (در فیلترهای وکیوم) یا فشار (در پرس ها)، میشه بازده فیلتر رو بهینه کرد.
- **برنامه ریزی نگهداری:** کاهش ناگهانی بازده میتونه نشانه ای از مشکلات مثل گرفتگی پارچه فیلتر باشه.

فرمول:

بازده فیلتر (کیلوگرم بر ساعت بر متر مربع) = (جرم جامدات در کیک لجن (کیلوگرم بر ساعت)) / (مساحت فعال فیلتر (متر مربع))

مثال ۲ : فرض کنید یک فیلتر وکیوم دوار دارای مساحت فیلتراسیون ۲۰۰ متر مربع (m^2) است و ۴۰ کیلوگرم بر ساعت (kg/hr) جامدات خشک در کیک لجن تولید می‌کند (بر اساس مثال ۱).

• بازده فیلتر = $(۴۰ \text{ کیلوگرم بر ساعت} / ۲۰۰ \text{ متر مربع}) = ۰,۲ \text{ کیلوگرم بر متر مربع}$

این مقدار ($kg/hr/m^2$) ۰,۲ نشان می‌دهد که هر متر مربع از سطح فیلتر در هر ساعت ۰,۲ کیلوگرم جامدات خشک رو تولید می‌کند.

3. نرخ تغذیه بایوسالیدز - (Biosolids Feed Rate) برای پرس‌های فیلتر تسمه‌ای

این محاسبه به ما کمک می‌کند تا برنامه‌ریزی کنیم که لجن با چه سرعتی باید به دستگاه آبیگری (به خصوص پرس‌های فیلتر تسمه‌ای) تغذیه شود تا کل مقدار لجن مورد نظر در یک دوره زمانی مشخص آبیگری شود. این محاسبه معمولاً به عنوان نرخ بارگذاری هیدرولیکی دستگاه هم شناخته می‌شود.

چرا مهم است؟

- برنامه‌ریزی تولید : به ما امکان می‌دهد زمان کارکرد مورد نیاز دستگاه رو برای آبیگری یک حجم مشخص از لجن تعیین کنیم.
- بهینه‌سازی فرآیند : تغذیه بیش از حد سریع می‌تونه کارایی آبیگری رو کم کنه و تغذیه بیش از حد کند هم می‌تونه ظرفیت دستگاه رو هدر دهد.

فرمول (بر حسب وزن کلی بایوسالیدز - جامدات خشک):

نرخ تغذیه بایوسالیدز (کیلوگرم بر ساعت) = (مقدار کل بایوسالیدز قابل آبیگری (کیلوگرم بر روز)) / تقسیم بر (ساعات کارکرد در روز (ساعت بر روز))

نکته : مقدار کل بایوسالیدز قابل آبیگری" در اینجا به معنی جرم جامدات خشک در لجن ورودی است که باید آبیگری شود.

مثال ۳ : فرض کنید تصفیه‌خانه روزانه ۱۲۰۰ کیلوگرم جامدات خشک لجن (kg/day) تولید می‌کند و قرار است دستگاه آبیگری روزانه ۱۰ ساعت کار کند.

• نرخ تغذیه بایوسالیدز = $(۱۲۰۰ \text{ کیلوگرم بر روز} / ۱۰ \text{ ساعت بر روز}) = ۱۲۰ \text{ کیلوگرم بر ساعت}$

این به این معنی است که دستگاه باید با سرعتی معادل ۱۲۰ کیلوگرم جامد خشک در ساعت تغذیه شود.

فرمول (بر حسب نرخ بارگذاری هیدرولیکی بر واحد عرض تسمه برای پرس‌های تسمه‌ای):

برای پرس‌های تسمه‌ای، نرخ تغذیه همچنین می‌تونه بر اساس دبی حجمی لجن در واحد عرض تسمه بیان بشه تا ظرفیت هیدرولیکی دستگاه مشخص شود.

نرخ تغذیه بایوسالیدز (متر مکعب بر ساعت بر متر عرض تسمه) = (دبی حجمی لجن (متر مکعب بر ساعت)) / تقسیم بر (عرض تسمه (متر))

مثال ۴ : فرض کنید یک پرس فیلتر تسمه‌ای با عرض ۰/۵ متر (m) با نرخ ۱۲ متر مکعب بر ساعت (m^3/hr) لجن تغذیه می‌شود.

- نرخ تغذیه بیوسالیدز = (۱۲ متر مکعب بر ساعت / ۰,۵ متر) = ۲۴ متر مکعب بر متر عرض تسمه
این نشون میده که هر متر از عرض تسمه، ۲۴ متر مکعب لجن در ساعت رو پردازش می‌کنه.

4. نرخ بارگذاری جامدات - (Solids Loading Rate) برای پرس‌های فیلتر تسمه‌ای

نرخ بارگذاری جامدات، مقدار جامدات خشک رو که در هر واحد زمان روی تسمه دستگاه آبیگری (به خصوص پرس های فیلتر تسمه‌ای) بارگذاری می‌شود، اندازمگیری می‌کند. این شاخص برای اطمینان از اینکه دستگاه در محدوده ظرفیت خودش کار می‌کند و از بارگذاری بیش از حد جلوگیری می‌شود، خیلی مهم است.

چرا مهم است؟

- جلوگیری از بارگذاری بیش از حد : بارگذاری بیش از حد می‌تونه کارایی آبیگری رو کم نماید و منجر به خروج لجن مرطوب تر یا حتی سرریز لجن از دستگاه شود.
- بهینه‌سازی عملکرد : تنظیم نرخ تغذیه لجن بر اساس نرخ بارگذاری جامدات بهینه، به دستگاه کمک می‌کند تا بهترین عملکرد رو داشته باشد.
- مقایسه با ظرفیت طراحی : می‌شود این نرخ رو با ظرفیت طراحی شده دستگاه مقایسه کرد.

فرمول (بر حسب وزن جامدات در ساعت):

نرخ بارگذاری جامدات (کیلوگرم بر ساعت) = دبی حجمی لجن (متر مکعب بر ساعت) \times چگالی لجن (کیلوگرم بر متر مکعب) \times (درصد جامدات معلق کل تقسیم بر ۱۰۰)

مثال ۵ : اگه یک پرس فیلتر تسمه‌ای با نرخ ۱۵ متر مکعب بر ساعت (m^3/hr) لجن با ۲٪ جامدات معلق کل تغذیه شود . چگالی لجن رو ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر بگیرید.

- نرخ بارگذاری جامدات = ۱۵ (متر مکعب بر ساعت) \times ۱۰۰۰ (کیلوگرم بر متر مکعب) \times (۲ / ۱۰۰) = ۳۰۰ کیلوگرم بر ساعت

این بدان معنی است که ۳۰۰ کیلوگرم جامدات خشک در هر ساعت روی تسمه بارگذاری می‌شود.

فرمول (بر حسب وزن جامدات در هر واحد سطح در ساعت برای پرس‌های تسمه‌ای):

گاهی اوقات نرخ بارگذاری بر حسب واحد سطح فیلتر (تسمه) بیان می‌شود تا امکان مقایسه بین دستگاه‌های مختلف فراهم شود.

نرخ بارگذاری جامدات (کیلوگرم بر ساعت بر متر مربع) = (جرم جامدات در لجن ورودی (کیلوگرم بر ساعت)) تقسیم بر (مساحت فعال تسمه (متر مربع))

نکته : مساحت فعال تسمه به عرض تسمه و طول بخش فعال آن در فرآیند آبیگری بستگی دارد.

مثال ۶: اگر نرخ بارگذاری جامدات (جرمی) ۳۰۰ کیلوگرم بر ساعت باشد و مساحت فعال تسمه (طول فعال) × عرض) ۵۰ متر مربع باشد:

- نرخ بارگذاری جامدات = (۳۰۰ کیلوگرم بر ساعت / ۵۰ متر مربع) = ۶ کیلوگرم بر متر مربع

اهمیت کلی این محاسبات در سیستم متریک:

این محاسبات، ابزارهای ضروری برای هر اپراتور و مهندس تصفیه‌خانه هستند. با پایش دقیق این پارامترها، میتوانیم اطمینان حاصل کنیم که:

- حداکثر کارایی آبیگری به دست می‌آید.
- هزینه‌های عملیاتی (به دلیل کاهش حجم لجن برای دفع و حمل‌ونقل) به حداقل می‌رسد.
- کیفیت پساب خروجی حفظ می‌شود (با جلوگیری از برگشت جامدات زیاد به جریان آب).
- طول عمر تجهیزات افزایش پیدا می‌کند (با جلوگیری از بارگذاری بیش از حد).

دفع و استفاده مجدد لجن: از پسماند تا منبع ارزشمند

پس از تمام مراحل تصفیه، غلیظسازی، هضم و آبیگری، اکنون با محصول نهایی سروکار داریم: بیوسالیدز (اگر قرار است به طور مفید استفاده شود) یا لجن پایدار شده (اگر برای دفع به محل دفن زباله می‌رود). هدف نهایی از مدیریت بیوسالیدزها، دفع آنها به روشی سازگار با محیط زیست است، و در صورت امکان، بازیافت مواد مغذی و بهبوددهنده‌های خاک موجود در آنها.

روش‌های اصلی دفع و استفاده مجدد شامل:

۱. کاربرد خاکی (Land Application):

- **اصل کار:** این رایج‌ترین و دوست‌دارترین روش برای بیوسالیدزهای تثبیت شده است. بیوسالیدزها به عنوان یک کود طبیعی و اصلاح کننده خاک بر روی زمین‌های کشاورزی یا مناطق غیرکشاورزی (مثل جنگل‌ها یا زمین‌های بازسازی شده) اعمال می‌شوند.
- **روش‌ها:** بیوسالیدزها می‌توانند به صورت تزریق مستقیم به خاک (برای کاهش بو و از بین بردن پاتوژن‌های سطحی) یا با پخش سطحی و سپس شخم‌زنی (اختلاط) با خاک اعمال شوند.
- **مزایا:** یک بیوسالیدز تولید شده توسط فرایندهای رایج آبیگری به راحتی قابل جابجایی است و می‌توان آن را به صورت دستی یا با استفاده از پخش‌کننده‌های کشاورزی معمولی روی زمین پخش کرد. این روش، مواد مغذی موجود در لجن را به خاک بازمی‌گرداند و به بهبود ساختار و حاصلخیزی خاک کمک می‌کند.
- **اهمیت:** در حالی که برخی از جامدات ممکن است به محل دفن بهداشتی زباله یا در موارد بسیار نادر به محل دفن زباله‌های خطرناک فرستاده شوند، کاربرد خاکی برای استفاده مفید، نتیجه‌ای پایدار و رایج برای بیوسالیدزهای تثبیت شده است.

۲. دفن در محل‌های دفن زباله بهداشتی (Landfilling) :

- لجن آبگیری شده (کیک لجن) می‌تواند به محل‌های دفن زباله بهداشتی منتقل شود. این روش ساده و رایج است، اما فضای زیادی را اشغال می‌کند و مواد مغذی موجود در لجن از دست می‌روند. همچنین نگرانی‌هایی در مورد نشست شیرابه (آب آلوده از دفن زباله) وجود دارد.

۳. سوزاندن (Incineration) :

- برخی تصفیه‌خانه‌ها از سوزاندن لجن برای کاهش حجم آن و تولید انرژی استفاده می‌کنند. این روش حجم جامدات را به شدت کاهش می‌دهد، اما می‌تواند باعث آلودگی هوا شود و هزینه‌های عملیاتی بالایی دارد.

محاسبات مهم در دفع و استفاده مجدد لجن (به ویژه کاربرد خاکی):

- **هزینه دفع :** محاسبه سالانه هزینه دفع بیوسالیدز بر اساس وزن خشک لجن و هزینه به ازای هر تن خشک.
 - مثال: اگر ۱۰۰۰ تن لجن مرطوب در سال تولید شود که ۳۰٪ جامدات دارد و هزینه دفع هر تن خشک لجن ۱۰۰ دلار باشد، هزینه سالانه می‌شود :
$$= (۱۰۰۰ \text{ تن لجن مرطوب/سال}) * (۰/۳۰ \text{ تن جامد/تن مرطوب}) * (۱۰۰ \text{ دلار/تن جامد خشک}) = ۳۰۰۰۰ \text{ دلار در سال.}$$
- **نیتروژن قابل استفاده برای گیاه (Plant Available Nitrogen - PAN) :** این یک عامل بسیار مهم برای کاربرد خاکی است و نشان‌دهنده مقدار نیتروژنی است که بلافاصله یا در طول فصل رشد برای گیاهان قابل دسترس خواهد بود.
 - PAN شامل نیتروژن آمونیاکی (که به سرعت در دسترس است) و نیتروژن آلی (که باید توسط میکروارگانیسم‌ها به فرم قابل جذب تبدیل شود - فرآیند کانی‌سازی) است.
 - عوامل مؤثر: نرخ کانی‌سازی (معمولاً حدود ۰/۲۰ در سال) و نرخ تبخیر نیتروژن آمونیاکی (که بستگی به زمان بین اعمال لجن و مخلوط کردن آن با خاک دارد). این محاسبه پیچیده است و بسته به خصوصیات خاک و شرایط محیطی متفاوت خواهد بود.
- **نرخ کاربرد :** اگرچه فرمول کلی در اینجا ارائه نشده است، اما نرخ کاربرد بیوسالیدز در زمین‌های کشاورزی بر اساس نیاز گیاهان به مواد مغذی (به ویژه نیتروژن و فسفر) و همچنین محدودیت‌های قانونی برای جلوگیری از تجمع فلزات سنگین یا سایر آلاینده‌ها تعیین می‌شود.

فصل ششم

بهره برداری و نگهداری از واحد های گندزدایی و کلرزی

www.daneshemohit.ir

هدف از گندزدایی

گندزدایی فرآیندی حیاتی در تصفیه آب و فاضلاب است. هدف اصلی آن حفاظت از کیفیت میکروبی آب با از بین بردن یا غیرفعال کردن بیشتر میکروارگانیسم‌ها، به‌ویژه ارگانیسم‌های بیماری‌زا (پاتوژن‌ها) است. در حالی که گندزدایی تعداد ارگانیسم‌های بیماری‌زا را به سطح قابل قبولی کاهش می‌دهد، مهم است به این نکته توجه شود که تمام اشکال میکروبی را از بین نمی‌برد؛ از بین بردن کامل به عنوان استریل‌سازی شناخته می‌شود که معمولاً هدف در تصفیه آب یا فاضلاب نیست.

در تصفیه آب، نگرانی اصلی اپراتورها کنترل میکروارگانیسم‌هایی است که باعث بیماری‌های منتقله از آب (پاتوژن‌ها) می‌شوند تا از مصرف‌کننده محافظت کنند. برای اپراتورهای فاضلاب، تمرکز بر حذف پاتوژن‌های مضر از جریان فاضلاب قبل از تخلیه آن به محیط زیست است. این امر به ویژه زمانی اهمیت دارد که بدنه آب دریافت‌کننده برای شنا و یا تامین آب پایین دست استفاده می‌شود. این فرآیند تضمین می‌کند که میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا به عنوان ارگانیسم‌های زنده در پساب تصفیه‌شده آزاد نمی‌شوند.

میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در تمام فاضلاب‌ها وجود دارند و می‌توانند باعث بیماری‌های مختلف منتقله از آب مانند حصبه، وبا، اسهال خونی، ژiardیازیس و کریپتوسپوریديوز شوند. در حالی که فرآیندهای تصفیه فاضلاب مانند ته‌نشینی و فیلتراسیون برخی از میکروارگانیسم‌ها را حذف می‌کنند و مرگ طبیعی نیز اتفاق می‌افتد، بسیاری از آنها هنوز باقی می‌مانند. گندزدایی برای اطمینان از اینکه اساساً تمام میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا از بین می‌روند یا غیرفعال می‌شوند، ضروری است.

کلرزنی

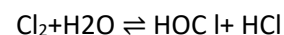
کلرزنی یک روش پرکاربرد برای گندزدایی در تصفیه آب و فاضلاب است، اگرچه کاربرد آن در این دو حوزه کمی متفاوت است. به عنوان مثال، بسیاری از تاسیسات تصفیه فاضلاب به دلیل مقررات ایمنی سخت‌گیرانه، از کلر عنصری به سمت گزینه‌های جایگزین مانند هیپوکلریت سدیم یا کلسیم، ازن یا اشعه فرابنفش (UV) روی آورده‌اند، در حالی که کلر عنصری هنوز در تصفیه آب برای حفظ باقیمانده در سیستم توزیع رایج است.

کلر در اشکال مختلف موجود است:

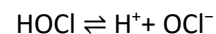
- **گاز کلر عنصری خالص (Cl_2):** گازی سبز-زرد، سمی و خورنده، سنگین‌تر از هوا. با ۱۰۰٪ کلر موجود استفاده می‌شود. این فرم معمولاً در تاسیسات بزرگتر تصفیه آب به دلیل اثربخشی بالا و هزینه نسبی کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما به دلیل خطرات بالقوه آن، نیاز به اقدامات ایمنی بسیار دقیق‌تری دارد.
 - **هیپوکلریت کلسیم جامد ($Ca(OCl)_2$):** به شکل قرص یا گرانول موجود است و حدود ۶۵٪ کلر موجود دارد. این فرم برای تاسیسات کوچکتر و سیستم‌های اضطراری مناسب‌تر است، زیرا جابجایی آن از گاز کلر ایمن‌تر است. با این حال، ممکن است مشکلاتی مانند تشکیل رسوب و نیاز به ذخیره‌سازی در جای خشک را به همراه داشته باشد.
 - **هیپوکلریت سدیم مایع ($NaOCl$):** مشابه سفیدکننده قوی، در غلظت‌های مختلف موجود است (غلظت‌های صنعتی حدود ۱۲-۱۵٪ کلر موجود دارند). این فرم، به دلیل سهولت در استفاده و نیاز کمتر به تجهیزات پیچیده، گزینه‌ای محبوب در تاسیسات تصفیه فاضلاب و همچنین در برخی از تاسیسات آب است. با این حال، پایداری آن کمتر است و با گذشت زمان غلظت کلر آن کاهش می‌یابد.
- انتخاب شکل کلر به عواملی مانند حجم آب/فاضلاب مورد تصفیه، پیکربندی سیستم، دسترسی محلی، و مهارت اپراتور بستگی دارد.

شیمی کلرزی

هنگامی که کلر به آب خالص اضافه می‌شود، واکنش داده و اسید هیپوکلروس (HOCl) و اسید هیدروکلریک (HCl) را تشکیل می‌دهد:



اسید هیپوکلروس یک اسید ضعیف است و به یون هیدروژن (H^+) و یون هیپوکلریت (OCl^-) تفکیک می‌شود:



هم HOCl و هم OCl^- عوامل گندزدایی هستند که به سلول‌های میکروبی نفوذ کرده و با آنزیم‌ها واکنش می‌دهند و متابولیسم را مختل کرده و آنها را از بین می‌برند. HOCl به طور کلی یک گندزدایی بسیار موثرتر از OCl^- است. مقادیر نسبی HOCl و OCl^- تشکیل شده به pH بستگی دارد. با افزایش pH ، غلظت OCl^- افزایش می‌یابد، در حالی که HOCl کاهش می‌یابد و قدرت گندزدایی را کاهش می‌دهد. برای گندزدایی آب، با افزایش pH از ۶ به ۹، اثربخشی کلر کمتر می‌شود. این به این معنی است که در pH های بالاتر، برای رسیدن به همان سطح گندزدایی، به دوز کلر بیشتری نیاز خواهیم داشت.

در آب‌های طبیعی یا فاضلاب، کلر با مواد دیگر واکنش می‌دهد. این مواد می‌توانند شامل ترکیبات آلی، آمونیاک، آهن، منگنز، و سولفید هیدروژن باشند. کلر ابتدا با این مواد واکنش می‌دهد که به آن تقاضای کلر می‌گویند. این تقاضا باید قبل از اینکه کلر بتواند به عنوان گندزدا عمل کند، برآورده شود. پس از برآورده شدن تقاضای اولیه، کلر با ترکیبات آلی و آمونیاک واکنش داده و کلروارگانیک‌ها و کلرامین‌ها (مانند مونوکلرامین، دی‌کلرامین و تری‌کلرامین) را تشکیل می‌دهد. کلرامین‌ها بخشی از باقیمانده ترکیبی هستند و خواص گندزدایی نیز دارند، اگرچه آنها عموماً کمتر از HOCl موثر هستند.

کلرزی نقطه شکست نقطه‌ای است که در آن به اندازه کافی کلر اضافه شده تا ترکیبات نیتروژن و سایر موادی که تقاضا ایجاد می‌کنند را اکسید کند. در این نقطه، بیشترین میزان کلر آزاد قابل دسترس HOCl و OCl^- حاصل می‌شود که بالاترین قدرت گندزدایی را دارد. دستیابی به کلر آزاد باقیمانده در فاضلاب معمولاً به دلیل حضور انواع ترکیبات آلی و آمونیاک، به مقادیر بسیار زیادی کلر نیاز دارد. مجموع تقاضای کلر و باقیمانده کلر (ترکیبی و/یا آزاد) دوز کلر است.

اقدامات احتیاطی ایمنی

کلر یک ماده بسیار خطرناک است که نیاز به احتیاط شدید در جابجایی، حمل و نقل، ذخیره‌سازی و استفاده دارد. گاز کلر عنصری به ویژه خطرناک است، زیرا سمی، خورنده، اکسیدکننده و سنگین‌تر از هوا است. قرار گرفتن در معرض آن می‌تواند باعث تحریک شدید چشم، بینی، گلو و ریه‌ها شود و در غلظت‌های بالا، منجر به ادم ریوی و مرگ شود. محلول هیپوکلریت سدیم نیز خورنده و دارای pH بالا است و می‌تواند باعث سوختگی شیمیایی شود.

روش‌های کلیدی ایمنی:

- **آموزش جامع:** تمام اپراتورهایی که با کلر کار می‌کنند باید به طور کامل در مورد تکنیک‌های صحیح جابجایی، واکنش در مواقع اضطراری، و رعایت کلیه مقررات مربوطه آموزش ببینند. این آموزش باید شامل نحوه استفاده از تجهیزات ایمنی، شناسایی نشت، و روش‌های تخلیه اضطراری باشد.
- **تجهیزات حفاظت فردی (PPE):** اپراتورها باید همیشه از PPE مناسب استفاده کنند. این شامل ماسک‌های تمام‌صورت با فیلتر مناسب (مانند کارتریج‌های اسید گاز)، دستکش‌های مقاوم در برابر مواد شیمیایی، عینک‌های ایمنی، و لباس‌های محافظ است. محل و نحوه استفاده از این تجهیزات باید به وضوح مشخص و برای همه قابل دسترسی باشد.
- **تهویه کافی:** در مناطق ذخیره‌سازی و تغذیه کلر، تهویه مناسب و کارآمد حیاتی است، به‌ویژه از آنجایی که گاز کلر سنگین‌تر از هوا است و در نزدیکی سطح زمین تجمع می‌یابد. سیستم‌های تهویه باید به گونه‌ای طراحی شوند که هوای آلوده را از کف اتاق‌ها خارج کنند.
- **تشخیص نشت:** نشت گاز کلر را می‌توان با یک سواب آغشته به محلول آمونیاک تشخیص داد؛ یک دود سفید نشان‌دهنده وجود گاز کلر است. سیستم‌های هشداردهنده نشت کلر خودکار نیز باید نصب و به طور منظم کالیبره شوند. کیت‌های تعمیر

اضطرابی مانند کیت A، B، C برای سیلندرهای کلر باید در دسترس باشند و پرسنل باید در استفاده از آنها آموزش دیده باشند.

- **پروتکل‌های واکنش اضطراری:** برنامه‌های اضطراری باید به وضوح تدوین شده و به طور منظم تمرین شوند. این برنامه‌ها باید شامل مراحل مهار نشت، تخلیه پرسنل، اطلاع‌رسانی به مقامات مربوطه، و ارائه کمک‌های اولیه باشد.
- **ذخیره‌سازی ایمن:** کانتینرهای کلر باید در محلی امن، خشک، خنک و با تهویه مناسب ذخیره شوند. آنها باید از حرارت مستقیم، نور خورشید و مواد ناسازگار مانند روغن، گریس، مواد قابل اشتعال، و آمونیاک دور نگه داشته شوند. برای مخازن ذخیره‌سازی هیپوکلریت سدیم، ساخت حوضچه‌های مهار ریزش برای جلوگیری از گسترش نشت ضروری است.
- **جابجایی دقیق:** هنگام جابجایی کانتینرهای کلر، از روش‌های ایمنی مناسب و تجهیزات بالابر استاندارد استفاده شود. از غلتاندن یا رها کردن سیلندرها خودداری شود. هنگام تعویض کانتینرهای کلر، همیشه از حداقل دو نفر استفاده شود تا از ایمنی کامل اطمینان حاصل شود.

عملیات و نگهداری

کلرزی مؤثر نیازمند عملیات دقیق و نگهداری منظم است.

عملیات:

- **تنظیم نرخ تغذیه:** نرخ تغذیه کلر (برای کلرزن‌های گازی، هیپوکلریناتورها یا فیدرهای قرص) باید به طور مداوم برای حفظ سطوح باقیمانده کلر مورد نیاز در پساب تصفیه‌شده تنظیم شود. این تنظیمات معمولاً بر اساس نتایج آزمایش‌های روتین باقیمانده کلر و با استفاده از سیستم‌های کنترل خودکار یا دستی انجام می‌شود.
- **نظارت مستمر:** اپراتورها باید به طور منظم عملکرد تجهیزات را مشاهده کنند، مترها را بخوانند، و آزمایش‌های کنترل فرآیند (مانند pH، دما، کدورت) را انجام دهند. جمع‌آوری نمونه‌های باکتریولوژیکی از پساب به طور منظم برای تأیید اثربخشی فرآیند گندزدایی حیاتی است.
- **تمیز کردن مخزن تماس:** به طور دوره‌ای مواد جامد انباشته شده (مانند رسوب یا بیوفیلم) باید از مخزن تماس کلر حذف شوند تا از کاهش زمان تماس مؤثر و ایجاد نقاط کور جلوگیری شود.
- **عملیات سیستم‌های هیپوکلریت:** برای سیستم‌های تغذیه محلول، این شامل تهیه دقیق محلول‌ها با غلظت مناسب و اطمینان از همگن بودن آنهاست. برای فیدرهای خشک، افزودن پودر یا پلت به مخزن ذخیره به طور منظم ضروری است. در کلرزن‌های قرص، افزودن قرص‌ها به لوله‌های تغذیه بر اساس دستورالعمل سازنده انجام می‌شود.
- **عملیات کلرزی گازی:** بازرسی منظم تجهیزات مکانیکی، آزمایش نشت، تعویض ایمن کانتینرها، و تنظیم نرخ تغذیه آب انژکتور (جت آب که خلاء را برای کشیدن گاز کلر ایجاد می‌کند) از اهمیت بالایی برخوردار است. اطمینان از تامین آب کافی و با فشار مناسب به انژکتور برای حفظ خلاء و عملکرد صحیح سیستم حیاتی است.
- **استفاده از ORP:** پتانسیل اکسیداسیون-کاهش (ORP) را می‌توان به عنوان یک اندازه‌گیری مستقیم و لحظه‌ای از اثربخشی کلر در گندزدایی پساب استفاده کرد. نظارت بر ORP می‌تواند به اپراتورها کمک کند تا به سرعت به تغییرات در کیفیت آب واکنش نشان داده و دوز کلر را بهینه کنند.

نگهداری:

- **نگهداری پیشگیرانه تجهیزات:** طبق دستورالعمل‌های سازنده، برنامه‌های نگهداری پیشگیرانه برای کلرزن‌ها، تبخیرکننده‌ها (در صورت استفاده برای تبدیل کلر مایع به گاز)، پمپ‌ها، و سایر تجهیزات باید دقیقاً رعایت شود. تبخیرکننده‌ها نیاز به تمیز کردن منظم رسوب و بازرسی دقیق برای نشت دارند.

- **بازرسی و تمیز کردن لوله‌کشی :** خطوط محلول کلر، به‌ویژه آنهایی که هیپوکلریت را جابجا می‌کنند، می‌توانند دچار گرفتگی و رسوبگذاری شوند. بازرسی منظم برای نشت، گرفتگی و خوردگی و تمیز کردن دوره‌ای این خطوط ضروری است.
- **تمیز کردن حسگرها :** حسگرهای اندازه‌گیری باقیمانده کلر و ORP باید به طور منظم تمیز و کالیبره شوند تا از دقت قرائت‌ها اطمینان حاصل شود. رسوب یا بیوفیلم روی حسگرها می‌تواند باعث نتایج نادرست شود.

عیب‌یابی و حل مشکلات :

مشکلات عملیاتی می‌توانند در سیستم‌های کلرزنی رخ دهند که منجر به عملکرد ناکافی گندزدایی، اتلاف مواد شیمیایی، یا خطرات ایمنی می‌شوند. اپراتورها باید بتوانند این مشکلات را شناسایی، تشخیص و اصلاح کنند. نظارت منظم و مقایسه نتایج با محدوده‌های مورد انتظار کلید عیب‌یابی موثر است.

مشکلات رایج و اقدامات اصلاحی:

۱. **عدم رعایت استانداردهای کلیفرم (یا سایر شاخص‌های میکروبی) در پساب:**

○ علل احتمالی :

- **ظرفیت ناکافی تجهیزات :** ممکن است سیستم کلرزنی برای حجم یا بار میکروبی فاضلاب طراحی نشده باشد.
- **کنترل ناکافی باقیمانده کلر :** دوز کلر کافی نیست یا به درستی تنظیم نمی‌شود.
- **اختلاط ضعیف :** کلر به طور یکنواخت با فاضلاب مخلوط نمی‌شود و نقاطی با گندزدایی ناکافی ایجاد می‌شود.
- **محدوده اشتباه روتامتر (در کلرزنها) یا پمپ (در هیپوکلریناتورها) :** تجهیزات برای دبی مورد نیاز تنظیم نشده‌اند.
- **تداخل ناشی از کدورت یا مواد جامد معلق :** ذرات معلق می‌توانند میکروارگانیسم‌ها را از تماس با کلر محافظت کنند.
- **pH خارج از محدوده بهینه :** در pH بالا، اثر بخشی HOCl به عنوان گندزدا کاهش می‌یابد.
- **زمان تماس ناکافی :** فاضلاب به اندازه کافی در مخزن تماس باقی نمی‌ماند.

○ اقدامات اصلاحی :

- **ارزیابی و ارتقاء تجهیزات :** در صورت لزوم، تجهیزات با ظرفیت بالاتر (مثلاً کلرزنها بزرگتر یا پمپ‌های تزریق قوی‌تر) را نصب کنید.
- **بهبود کنترل باقیمانده :**
 - سیستم‌های کنترل خودکار (آنالیزورهای کلر آنلاین) را بررسی و کالیبره کنید.
 - حسگرها را تمیز کنید.
 - دوز کلر را بر اساس نتایج آزمایشگاهی و نیاز تقاضای کلر افزایش دهید.
 - استراتژی کنترل را از "دوز ثابت" به "دوز متناسب با دبی" یا "کنترل حلقه بسته با باقیمانده" تغییر دهید.

- افزایش اختلاط :
 - دستگاه‌های اختلاط مکانیکی (مثلاً همزن‌ها) را در نقطه تزریق کلر نصب کنید.
 - تزریق کلر را در محلی انجام دهید که تلاطم طبیعی (مثلاً در یک خط انتقال با سرعت بالا یا در یک سازه هیدرولیکی) وجود دارد.
 - بررسی و تنظیم تجهیزات تغذیه : اطمینان حاصل کنید که روتامتر (در کلرزن‌های گازی) یا پمپ (در سیستم‌های مایع) در محدوده صحیح و برای دبی فعلی تنظیم شده‌اند. کالیبراسیون دوره‌ای ضروری است.
 - بهینه‌سازی فرآیندهای بالادستی : بهبود فرآیندهای ته‌نشینی، فیلتراسیون یا سایر مراحل پیش‌تصفیه برای کاهش کدورت و مواد جامد معلق ورودی به واحد گندزدایی.
 - تنظیم pH: در صورت لزوم، مواد شیمیایی برای تنظیم pH به محدوده بهینه (مثلاً بین ۶ تا ۷/۵) اضافه کنید.
 - بررسی و بهینه‌سازی زمان تماس : اطمینان حاصل کنید که مخزن تماس به درستی عمل می‌کند. رسوبات را از بین ببرید و مسیر جریان را بررسی کنید تا از وقوع جریان‌های میانبر (short-circuiting) جلوگیری شود.

۲. عدم توانایی در تزریق مواد شیمیایی (کلر یا دی‌اکسید گوگرد):

○ علل احتمالی :

- سیلندر/کانتینر خالی : منبع مواد شیمیایی تمام شده است.
- افت فشار یا خلاء : در سیستم‌های گازی، مشکل در انژکتور، رگولاتور فشار، یا نشت در خطوط خلاء.
- انسداد در خطوط تزریق : لوله‌ها یا نازل‌های تزریق به دلیل رسوب یا گرفتگی مسدود شده‌اند.
- یخ‌زدگی در خطوط گاز (به ویژه در کلر گازی) : به دلیل افت دما ناشی از انبساط گاز.
- نقص مکانیکی/الکتریکی در فیدر یا پمپ : خرابی قطعات داخلی.
- مشکل در منبع آب انژکتور (در کلرزن‌های گازی) : فشار آب ناکافی یا قطع آب.

○ اقدامات اصلاحی :

- بررسی موجودی و تعویض : سیلندر/کانتینرهای خالی را با فوریت تعویض کنید.
- بررسی و تعمیر سیستم فشار/خلأ :
 - رگولاتورهای فشار را بررسی کنید.
 - برای نشت در خطوط خلاء از محلول آمونیاک استفاده کنید.
 - انژکتور را تمیز یا تعویض کنید.
- رفع گرفتگی : خطوط و نازل‌های تزریق را بررسی، تمیز یا شستشو دهید. در صورت نیاز، قطعات را تعویض کنید.

- گرمایش خطوط گاز : در مناطق سردتر، از گرم‌کننده‌های برقی (heat trace) برای جلوگیری از یخ‌زدگی در خطوط گاز استفاده کنید.
 - تعمیر یا تعویض قطعات معیوب : فیدرها (تغذیه کننده ها)، پمپ‌ها، موتورها و مدارهای الکتریکی را توسط پرسنل واجد شرایط بازرسی، تعمیر یا تعویض کنید.
 - بررسی منبع آب انژکتور : از تامین آب با فشار و دبی کافی به انژکتور اطمینان حاصل کنید. فشارسنج‌های آب را بررسی کنید و شیرها را باز کنید.
۳. کلر باقیمانده بیش از حد در پساب خروجی (در سیستم‌های کلرزدایی):

○ علل احتمالی :

- دوز ناکافی ماده کلرزدا : ماده کلرزدا به اندازه کافی برای خنثی کردن کلر باقیمانده اضافه نمی‌شود.
- مشکل در سیستم تغذیه ماده کلرزدا : شبیه به مشکل عدم تزریق مواد شیمیایی.
- اختلاط ضعیف : ماده کلرزدا به طور کامل با کلر باقیمانده مخلوط نمی‌شود.
- مشکل در حسگر یا آنالیزور باقیمانده کلر : قرائت‌های نادرست منجر به تنظیمات اشتباه می‌شود.

○ اقدامات اصلاحی :

- افزایش دوز ماده کلرزدا : تنظیم دوز ماده کلرزدا (مثلاً دی‌اکسید گوگرد یا بی‌سولفیت سدیم) بر اساس باقیمانده کلر مورد نیاز و آزمایش‌های دوره‌ای.
- عیب‌یابی سیستم تغذیه : بررسی و حل مشکلات مربوط به سیستم تغذیه ماده کلرزدا (شبیه به موارد ذکر شده در بند ۲).
- بهبود اختلاط : اطمینان از اختلاط سریع و کامل ماده کلرزدا با جریان پساب. ممکن است نیاز به نصب انژکتورهای جدید یا سیستم‌های اختلاط باشد.
- کالیبراسیون و تمیز کردن حسگرها : حسگرهای اندازه‌گیری باقیمانده کلر و/یا دی‌اکسید گوگرد را به طور منظم کالیبره و تمیز کنید.

۴. کاهش ناگهانی یا غیرعادی فشار در سیلندرهای گاز کلر:

○ علل احتمالی : نشت بزرگ در سیستم کلرزی یا خطوط گاز.

○ اقدامات اصلاحی :

- بررسی فوری نشت : با استفاده از محلول آمونیاک، تمام اتصالات، شیرها و خطوط را برای نشت بررسی کنید.
- توقف فوری عملیات : در صورت تشخیص نشت بزرگ، بلافاصله تزریق کلر را متوقف کرده و منطقه را تخلیه کنید.
- پوشیدن PPE کامل : اپراتورها فقط با وسایل حفاظت فردی کامل و مناسب مانند لباس‌های محافظ شیمیایی و دستگاه تنفس خودکفا باید وارد منطقه شوند.
- استفاده از کیت تعمیر اضطراری : در صورت امکان و آموزش دیدن، نشت را با استفاده از کیت‌های تعمیر اضطراری مهار کنید.
- تماس با مقامات : اطلاع رسانی به تیم‌های واکنش اضطراری، آتش‌نشانی و مقامات محیط زیست.

نکات کلی برای عیب‌یابی:

- **ثبث دقیق داده‌ها:** نگهداری سوابق دقیق از دوزهای مواد شیمیایی، باقیمانده‌ها، دبی‌ها، نتایج آزمایشگاهی و مشاهدات اپراتور می‌تواند به شناسایی الگوها و تشخیص زودهنگام مشکلات کمک کند.
- **رویکرد سیستمی:** همیشه کل سیستم را به عنوان یک واحد واحد در نظر بگیرید. مشکلی که در یک نقطه مشاهده می‌شود، ممکن است ناشی از نقص در نقطه دیگری از فرآیند باشد.
- **دستورالعمل‌های سازنده:** همیشه به دفترچه‌های راهنمای تجهیزات و توصیه‌های سازنده برای عیب‌یابی و نگهداری مراجعه کنید.

محاسبات

اپراتورها باید محاسبات مختلفی را برای کلرزنی و کلرزدایی انجام دهند، از جمله دوز، تقاضا، باقیمانده و نرخ‌های تغذیه. دقت در این محاسبات برای اثربخشی فرآیند و جلوگیری از هدر رفت مواد شیمیایی ضروری است.

فرمول‌ها و مفاهیم کلیدی:

- **تقاضای کلر:** (تقاضای کلر) میلی‌گرم در لیتر = (کلر باقی مانده) میلی‌گرم در لیتر - (دوز کلر افزوده شده) میلی‌گرم در لیتر
(این فرمول به ما کمک می‌کند تا مقدار کلری که توسط مواد آلی و معدنی در آب مصرف شده است را تعیین کنیم.)
- **دوز کلر:** دوز کلر (میلی‌گرم در لیتر) = تقاضای کلر (میلی‌گرم در لیتر) + باقیمانده کلر (میلی‌گرم در لیتر) (این فرمول به ما کمک می‌کند تا مقدار کلری را که باید به آب اضافه شود تا هم تقاضای آن برآورده شود و هم باقیمانده مطلوب حاصل شود، محاسبه کنیم.)
- **نرخ تغذیه کلر (کیلوگرم در روز):** این یک محاسبه اساسی برای تعیین مقدار کلر مورد نیاز بر اساس دبی (میزان جریان آب) و دوز مورد نظر است.
- (نرخ تغذیه) کیلوگرم در روز = (دوز) میلی‌گرم در لیتر \times (دبی) متر مکعب در روز $\times 10^{-3}$
مثال: برای تصفیه ۲۵۰ متر مکعب در روز آب با دوز کلر ۱/۲ میلی‌گرم در لیتر:
نرخ تغذیه کلر = $1.2 \text{ میلی‌گرم در لیتر} \times 250 \text{ متر مکعب در روز} \times 10^{-3} = 0.3$
یعنی هر روز ۰/۳ کیلوگرم کلر نیاز است.
- **نرخ تغذیه هیپوکلریت (جامد) (کیلوگرم در روز):** هنگام استفاده از ترکیبات هیپوکلریت، باید درصد کلر موجود (فعال) در محصول را در نظر بگیرید.

مقدار هیپوکلریت (کیلوگرم در روز) = درصد کلر فعال (به صورت اعشاری) \div مقدار کلر خالص مورد نیاز (کیلوگرم در روز)

مثال: برای تامین ۰/۳ کیلوگرم در روز کلر با استفاده از هیپوکلریت کلسیم با ۶۵٪ کلر موجود:

$$0.3 \div 0.65 = 0.46$$

یعنی برای تامین ۰/۳ کیلوگرم کلر خالص، حدود ۰/۴۶ کیلوگرم پودر هیپوکلریت کلسیم با ۶۵٪ خلوص نیاز است.

- **محاسبه حجم هیپوکلریت مایع مورد نیاز (لیتر در روز):**

نرخ تغذیه محلول (لیتر در روز) = مقدار کلر خالص مورد نیاز \div (درصد کلر \times چگالی محلول)

توجه: چگالی محلول هیپوکلریت سدیم با توجه به درصد آن متفاوت است. چگالی آب تقریباً ۱ کیلوگرم/لیتر است و محلول‌های غلیظتر هیپوکلریت کمی سنگین‌تر هستند.

مثال: فرض کنید محلول هیپوکلریت سدیم ۱۲٪ و چگالی آن ۱/۱۲ کیلوگرم/لیتر است و ۰/۳ کیلوگرم کلر در روز نیاز داریم:

$$۰/۳ \div (۰/۱۲ \times ۱/۱۲) = ۲/۲۳$$

یعنی برای تامین ۰/۳ کیلوگرم کلر خالص، حدود ۲/۲۳ لیتر از محلول هیپوکلریت سدیم ۱۲٪ نیاز است.

این محاسبات دقیقاً برای تعیین الزامات شیمیایی، تنظیم فیدرها، و ارزیابی عملکرد فرآیند گندزدایی ضروری هستند. همیشه از واحدها و ضرایب تبدیل ثابت برای محاسبات دقیق استفاده کنید.

کلرزدایی

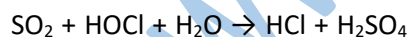
پس از کلرزنی، اغلب لازم است که باقیمانده کلر اضافی از پساب تصفیه‌شده قبل از تخلیه حذف شود. این فرآیند کلرزدایی نامیده می‌شود.

هدف از کلرزدایی، حفاظت از بدنه آب دریافت‌کننده و حیات آبی آن از اثرات سمی کلر باقیمانده و محصولات واکنش آن (مانند کلرامین‌ها) است. مطالعات علمی و نظارتی نشان داده‌اند که باقیمانده‌های کلر حتی در سطوح پایین (مثلاً کمتر از ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر) می‌توانند به ارگانیزم‌های حساس آبی (مانند ماهی‌ها و بی‌مهرگان آبی) آسیب برسانند، رشد صدف را کاهش دهند و اکوسیستم‌های آبی را مختل کنند.

استفاده از دی‌اکسید گوگرد (SO₂) یا بی‌سولفیت سدیم

کلرزدایی معمولاً با استفاده از مواد شیمیایی کاهنده که به سرعت با کلر واکنش می‌دهند، انجام می‌شود. رایج‌ترین مواد شیمیایی ترکیبات گوگرد هستند:

- **دی‌اکسید گوگرد (SO₂):** گازی بی‌رنگ با بوی تند و خفه‌کننده. این ماده کاهنده قوی است و به سرعت با کلر واکنش می‌دهد.
 - **بی‌سولفیت سدیم (NaHSO₃):** یک ماده شیمیایی مایع که جابجایی آن از گاز SO₂ ایمن‌تر است. معمولاً در غلظت‌های مختلف (مثلاً ۳۸٪) موجود است.
 - **سولفیت سدیم (Na₂SO₃):** کمتر رایج است و گاهی به شکل قرص استفاده می‌شود.
 - **متابی‌سولفیت سدیم (Na₂S₂O₅):** یک پودر جامد که در آب حل شده و محلول بی‌سولفیت سدیم تولید می‌کند.
- واکنش بین این ترکیبات و باقیمانده کلر معمولاً آبی و کامل است. به عنوان مثال، دی‌اکسید گوگرد با اسید هیپوکلروس (HOCl) واکنش می‌دهد و یون‌های کلرید (Cl⁻) و یون‌های سولفات (SO₄²⁻) را تشکیل می‌دهد:



در حالی که این واکنش همچنین اسیدها (مانند اسید سولفوریک و اسید هیدروکلریک) تولید می‌کند، مقدار آن به طور کلی کم است و pH پساب را به طور قابل توجهی تغییر نمی‌دهد مگر اینکه آب دارای قلیانیت بسیار کمی باشد و ظرفیت بافری ضعیفی داشته باشد. کربن فعال نیز می‌تواند باقیمانده کلر را حذف کند، اما استفاده از آن معمولاً برای مقادیر زیاد پساب تصفیه فاضلاب به دلیل هزینه بالا، نیاز به مقادیر زیاد کربن، و مشکلات دفع کربن اشباع‌شده رایج نیست. استفاده از کربن فعال بیشتر در تصفیه آب آشامیدنی برای حذف کلر یا ترکیبات خاص کاربرد دارد.

اقدامات احتیاطی ایمنی

دی‌اکسید گوگرد، مانند کلر، یک گاز خطرناک است که نیاز به اقدامات ایمنی جدی دارد. این گاز سمی، تحریک‌کننده و سنگین‌تر از هوا است. قرار گرفتن در معرض آن می‌تواند باعث مشکلات تنفسی، تحریک چشم و گلو، و در غلظت‌های بالا، آسیب‌های جدی به ریه شود. بی‌سولفیت سدیم نیز یک ماده شیمیایی خورنده است و می‌تواند باعث تحریک پوست و چشم شود.

روش‌های کلیدی ایمنی برای SO₂ و سایر مواد کلرزدا:

- **آموزش کامل:** اپراتورها باید در مورد خواص خطرناک SO₂ و سایر مواد شیمیایی کلرزدا، روش‌های جابجایی ایمن، و اقدامات اضطراری آموزش ببینند.
- **تجهیزات حفاظت فردی (PPE):** استفاده از PPE مناسب شامل ماسک‌های تنفسی، دستکش‌های مقاوم در برابر مواد شیمیایی، عینک‌های ایمنی، و لباس‌های محافظ در هنگام کار با این مواد شیمیایی ضروری است.
- **تشخیص نشت SO₂:** بوی تند و مشخصی دارد. نشت را می‌توان با استفاده از یک سواب آغشته به محلول آمونیاک (که دود سفید تولید می‌کند) یا با استفاده از آشکارسازهای الکترونیکی گاز SO₂ تشخیص داد.
- **رسیدگی به نشت:** در صورت نشت، منطقه باید بلافاصله تهویه شود. پرسنل باید با استفاده از PPE کامل وارد منطقه شوند و بر اساس پروتکل‌های اضطراری، نشت را مهار کنند. کیت‌های تعمیر اضطراری برای سیلندرهای SO₂ نیز باید در دسترس و پرسنل آموزش‌دیده باشند.
- **تهویه مناسب:** همانند کلر، مناطق ذخیره‌سازی و تغذیه SO₂ باید دارای تهویه مناسب باشند، به ویژه از آنجایی که SO₂ سنگین‌تر از هوا است و در نزدیکی سطح زمین جمع می‌شود.

عملیات و نگهداری

عملیات یک سیستم کلرزدایی شامل کنترل دقیق نرخ تغذیه ماده شیمیایی بر اساس باقیمانده کلر ورودی و هدف نهایی (معمولاً باقیمانده کلر صفر یا بسیار کم) است.

عملیات:

- **تنظیم نرخ تغذیه:** تنظیم سولفوناتور (sulfonator) یا سایر فیدرهای شیمیایی برای تحویل دوز صحیح از ماده شیمیایی کلرزدا. این دوز با استفاده از آنالیزورهای باقیمانده کلر و/یا SO₂ در خروجی تعیین می‌شود. کنترل خودکار با استفاده از سنسورهای آنلاین بسیار توصیه می‌شود.
- **نظارت مداوم:** به طور منظم پساب نهایی را برای باقیمانده کلر و در برخی موارد، باقیمانده SO₂ آزمایش کنید تا حذف کامل کلر تأیید شود و از دوز بیش از حد ماده کلرزدا جلوگیری شود.
- **راه‌اندازی سیستم:** پیروی از روش‌های راه‌اندازی خاص برای سیستم‌های جدید، سولفوناتورهای گازی، یا سولفوناتورهای مایع (هیپوکلریت/بی‌سولفیت سدیم) ضروری است.
- **سیستم‌های قرص:** برای کلرزن‌ها/کلرزدهای قرص، این شامل انتخاب اندازه صحیح سرریز و پر کردن لوله‌ها با قرص طبق توصیه‌های سازنده است تا دوز ثابت و موثری ارائه شود.
- **تجهیزات ایمنی:** نگهداری و بازرسی منظم تمام تجهیزات ایمنی، از جمله دوش‌های اضطراری و چشم‌شوی‌ها، بسیار مهم است.

نگهداری:

- **نگهداری تجهیزات:** سولفوناتورها، تبخیرکننده‌ها (اگر برای SO₂ استفاده می‌شوند)، پمپ‌های تزریق، لوله‌کشی، و مناطق تامین باید طبق دستورالعمل‌های سازنده نگهداری شوند.

- **بازرسی لوله‌کشی :** لوله‌کشی را برای نشت، گرفتگی (به ویژه در خطوط تزریق) و خوردگی به طور منظم بازرسی کنید. تمیز کردن دوره‌ای برای جلوگیری از تجمع رسوب ضروری است.
- **تمیز کردن حسگرها :** حسگرهای اندازه‌گیری باقیمانده باید به طور منظم تمیز و کالیبره شوند تا از دقت و قابلیت اطمینان اندازه‌گیری‌ها اطمینان حاصل شود.

عیب‌یابی و حل مشکلات

مشکلات در کلرزدایی می‌تواند منجر به رهاسازی کلر باقیمانده به محیط زیست (که مضر است) یا هدر رفت مواد شیمیایی و افزایش هزینه‌های عملیاتی شود. اپراتورها باید توانایی تشخیص و حل سریع این مشکلات را داشته باشند.

مشکلات رایج و اقدامات اصلاحی:

۱. وجود کلر باقیمانده در پساب خروجی (با وجود کلرزدایی):

○ علل احتمالی :

- **دوز ناکافی ماده کلرزدا :** ماده کلرزدا به اندازه کافی برای خنثی کردن تمام کلر باقیمانده اضافه نمی‌شود.
- **اختلاط ضعیف :** ماده کلرزدا به طور کامل و سریع با کلر باقیمانده در پساب مخلوط نمی‌شود.
- **نقص یا گرفتگی در سیستم تغذیه ماده کلرزدا :** پمپ یا فیدر کار نمی‌کند، خطوط گرفتگی دارند، یا منبع ماده شیمیایی خالی است.
- **مشکل در آنالیزور باقیمانده :** آنالیزور به درستی کالیبره نشده یا خراب است و سیگنال اشتباهی به کنترل‌کننده می‌دهد.
- **زمان تماس ناکافی :** در صورت استفاده از کلرامین‌ها، زمان تماس کافی برای واکنش کلرزدا ممکن است وجود نداشته باشد.

○ اقدامات اصلاحی :

- **افزایش دوز ماده کلرزدا :** به تدریج دوز ماده کلرزدا را افزایش دهید تا زمانی که کلر باقیمانده به سطح مطلوب (معمولاً صفر) برسد. با این حال، مراقب باشید تا از دوز بیش از حد که خود می‌تواند مشکل‌ساز باشد، جلوگیری کنید.
- **بهبود اختلاط :** محل تزریق ماده کلرزدا را بررسی کنید. از انژکتورهای مناسب استفاده کنید و اطمینان حاصل کنید که تلاطم کافی در نقطه تزریق برای مخلوط شدن سریع وجود دارد. ممکن است نیاز به نصب همزن یا بهبود طراحی خط تزریق باشد.
- **بررسی و عیب‌یابی سیستم تغذیه :**
 - ابتدا سطح ماده شیمیایی در مخزن تامین را بررسی کنید.
 - پمپ تزریق (برای مایعات) یا فیدر (برای گاز) را برای عملکرد صحیح بررسی کنید.
 - خطوط تزریق را برای گرفتگی یا نشت بازرسی کنید. تمیز کردن منظم خطوط، به ویژه در نقاط تزریق، می‌تواند از گرفتگی جلوگیری کند.
 - فیلترها را بررسی و تمیز کنید.

- کالیبراسیون و تمیز کردن آنالیزور : آنالیزور باقیمانده کلر را به طور منظم کالیبره کنید و حسگرهای آن را تمیز کنید. از صحت اندازه‌گیری‌ها اطمینان حاصل کنید

۲. عدم توانایی در تزریق ماده شیمیایی کلرزدا:

○ علل احتمالی برای گاز دی اکسید گوگرد:

- سیلندر SO_2 خالی : بررسی کنید و سیلندر را تعویض کنید.
- افت خلاء در سولفوناتور : می‌تواند به دلیل نشت در خطوط خلاء، گرفتگی در انژکتور، یا فشار آب ناکافی به انژکتور باشد.
- گرفتگی یا یخ زدگی در خطوط گاز : به دلیل خلوص کم گاز یا دمای پایین محیط.
- خرابی رگولاتور فشار : رگولاتور به درستی کار نمی‌کند و فشار مناسب را تامین نمی‌کند.
- مشکل در تامین آب انژکتور : فشار یا دبی آب کافی به انژکتور نمی‌رسد.

○ علل احتمالی (برای محلول‌های مایع مانند بی‌سولفیت سدیم) :

- مخزن خالی : سطح ماده شیمیایی را بررسی کنید.
- خرابی پمپ تزریق : موتور، دیافراگم، یا سوپاپ‌های پمپ ممکن است خراب باشند.
- گرفتگی در خط مکش یا تزریق : رسوبات یا مواد خارجی می‌توانند خطوط را مسدود کنند.
- هواگرفتگی پمپ : (airlock) در پمپ‌های دیافراگمی.

○ اقدامات اصلاحی :

- بررسی و تعویض/پر کردن منبع : اطمینان حاصل کنید که ماده شیمیایی به اندازه کافی در دسترس است.
- عیب‌یابی سیستم خلاء برای گاز دی اکسید گوگرد:
 - تمام اتصالات را برای نشت با محلول آمونیاک بررسی کنید.
 - انژکتور را بازرسی و تمیز کنید.
 - از تامین آب با فشار و دبی کافی به انژکتور اطمینان حاصل کنید.
- رفع گرفتگی/یخ زدگی : خطوط گاز را بررسی و تمیز کنید. در صورت یخ زدگی، از گرمایش مناسب مانند heat trace استفاده کنید.
- بازرسی و تعمیر/تعویض رگولاتور فشار : در صورت شک به خرابی.
- عیب‌یابی پمپ (برای محلول‌های مایع) :
 - فیلترها و صافی‌های خط مکش را بررسی کنید.
 - پمپ را برای هواگرفتگی پرایم (prime) کنید.
 - اجزای پمپ (دیافراگم، سوپاپ‌ها) را بازرسی و در صورت لزوم تعویض کنید.

۳. دوز بیش از حد ماده کلرزدا (مثلاً بوی گاز دی اکسید گوگرد در خروجی):

○ علل احتمالی:

- دوز بیش از حد: ماده کلرزدا بیشتر از مقدار مورد نیاز اضافه می‌شود.
- خرابی آنالیزور یا حسگر: آنالیزور ممکن است باقیمانده کلر را کمتر از واقعیت نشان دهد و باعث افزایش دوز شود.
- مشکل در کنترل‌کننده خودکار: کنترل‌کننده سیگنال‌های اشتباه ارسال می‌کند.

○ اقدامات اصلاحی:

- کاهش دوز: به تدریج دوز ماده کلرزدا را کاهش دهید و با آزمایش‌های مکرر، آن را به سطح مطلوب (یعنی حذف کلر بدون اضافه شدن بیش از حد ماده کلرزدا) برسانید.
- کالیبراسیون مجدد آنالیزور: آنالیزورهای باقیمانده را مجدداً کالیبره کنید و از صحت آنها اطمینان حاصل کنید.
- بررسی سیستم کنترل: در صورت وجود سیستم کنترل خودکار، عملکرد آن را بررسی کنید تا مطمئن شوید که به درستی سیگنال‌ها را پردازش و دستورات را ارسال می‌کند.

نکات تکمیلی برای عیب‌یابی:

- روش "گام به گام": همیشه با ساده‌ترین احتمالات شروع کنید و به تدریج به مشکلات پیچیده‌تر بروید (مثلاً ابتدا سطح ماده شیمیایی را بررسی کنید، سپس پمپ، سپس خطوط و سنسورها).
- ابزارها و تجهیزات عیب‌یابی: از ابزارهای مناسب مانند کیت‌های تست کلر و SO_2 ، فشارسنج‌ها، و مولتی‌مترها استفاده کنید.
- آموزش مداوم: آموزش‌های مداوم و به روزرسانی دانش اپراتورها در مورد سیستم‌ها و مواد شیمیایی مورد استفاده، توانایی آنها را در عیب‌یابی و حل مشکلات به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد.

فصل هفتم

نمونه برداری و آزمایشات فاضلاب

www.daneshemohit.ir

نمونه‌برداری و آزمایشات فاضلاب دو بازوی قدرتمند و حیاتی در عملکرد صحیح و موثر هر تصفیه‌خانه فاضلاب هستند. تصور کنید تصفیه‌خانه یک بدن است؛ این آزمایش‌ها همانند حسگرهایی عمل می‌کنند که اطلاعات دقیق و لازم را از وضعیت داخلی این بدن به ما می‌دهند تا از سلامت و کارکرد درست آن اطمینان حاصل کنیم. این اطلاعات نه تنها برای نظارت بر عملکرد روزانه تصفیه‌خانه ضروری‌اند، بلکه تضمین می‌کنند که تمام خروجی‌ها با قوانین و استانداردهای زیست‌محیطی مطابقت دارند.

چرا به آزمایش‌های دقیق نیاز داریم؟

انجام آزمایش‌های دقیق و تجزیه و تحلیل صحیح نمونه‌های نماینده، تنها راه مطمئن برای اندازه‌گیری کارایی واقعی فرآیندهای پیچیده‌ای مانند حوضچه‌های ته‌نشینی (زالاسازها) است. این آزمایش‌ها به اپراتورهای تصفیه‌خانه کمک می‌کنند تا دقیقاً بفهمند چه اتفاقی درون سیستم می‌افتد و با استفاده از این داده‌ها، می‌توانند فرآیندهای تصفیه را در بهینه‌ترین سطح ممکن اداره کنند.

نتایج آزمایش‌ها به اپراتورها کمک می‌کنند تا با ارزیابی کارایی عملکرد یا درصد حذف آلاینده‌ها، میزان موفقیت یک تصفیه‌خانه یا حتی یک واحد خاص در آن را بسنجند. برای مثال، اگر در یک مرحله خاص، درصد حذف آلاینده‌ای پایین‌تر از حد انتظار باشد، اپراتور می‌تواند علت را جستجو کرده و تنظیمات لازم را اعمال کند. این نتایج سپس با پارامترهای استاندارد و دستورالعمل‌های ذکر شده در دفترچه راهنمای بهره‌برداری و نگهداری (O&M) تصفیه‌خانه مقایسه می‌شوند تا مشخص شود آیا تأسیسات همان‌طور که طراحی شده، عمل می‌کند یا خیر. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل مداوم فاضلاب برای پایش کلی عملکرد تصفیه‌خانه و هر یک از فرآیندهای آن، یک امر ضروری است.

رعایت الزامات قانونی یکی از مهمترین دلایل انجام نمونه‌برداری و آزمایش است. نهادهای نظارتی، مانند سازمان حفاظت محیط زیست، مجوزهایی به نام سیستم ملی حذف آلاینده‌ها (NPDES) صادر می‌کنند. این مجوزها به طور دقیق مشخص می‌کنند که چه حداقل نمونه‌برداری و آزمایش‌هایی باید بر روی پساب خروجی تصفیه‌خانه انجام شود. عدم رعایت این الزامات می‌تواند منجر به جریمه‌های سنگین و حتی تعطیلی تصفیه‌خانه شود. همچنین، اندازه‌گیری دقیق نرخ جریان فاضلاب، حیاتی است؛ زیرا این اطلاعات برای محاسبه بار وارد شده بر روی فرآیندهای تصفیه و ارزیابی نهایی کارایی تصفیه ضروری هستند.

تکنیک‌های نمونه‌برداری: چگونه نمونه‌های درست بگیریم؟

برای بررسی دقیق کیفیت آب، دو روش اصلی برای جمع‌آوری نمونه وجود دارد که هر کدام کاربردهای خاص خود را دارند: نمونه‌های لحظه‌ای (Grab Samples) و نمونه‌های مرکب (Composite Samples). انتخاب بین این دو به نوع آزمایش مورد نیاز، دلیل جمع‌آوری نمونه و الزامات قانونی بستگی دارد.

نمونه‌های لحظه‌ای (Grab Samples): نماینده یک "لحظه" خاص

نمونه‌های لحظه‌ای، همانطور که از نامشان پیداست، تنها یک بار و در یک زمان و مکان مشخص جمع‌آوری می‌شوند. این نمونه‌ها فقط وضعیت همان لحظه خاص را نشان می‌دهند و تصویری از نوسانات یا تغییرات در طول زمان ارائه نمی‌دهند. با این حال، برای برخی آزمایش‌ها که نیاز به بررسی وضعیت فوری دارند، این نوع نمونه‌برداری ضروری است. آزمایش‌هایی که معمولاً با نمونه‌های لحظه‌ای انجام می‌شوند عبارتند از:

- pH: نشان‌دهنده میزان اسیدی یا قلیایی بودن آب در همان لحظه.
- کلر باقیمانده کل (TRC): برای اطمینان از میزان کافی کلر برای ضدعفونی.
- اکسیژن محلول (DO): سطح اکسیژن موجود برای میکروارگانیسم‌ها در همان زمان.
- کلیفرم مدفوعی (Fecal Coliform): نشان‌دهنده آلودگی باکتریایی در لحظه.
- دما: اندازه‌گیری دمای فاضلاب در زمان نمونه‌برداری.

نکته مهم این است که بسیاری از این آزمایش‌ها، به ویژه pH و DO، باید بلافاصله پس از جمع‌آوری نمونه انجام شوند تا نتایج دقیق باشند، زیرا خواص آنها به سرعت تغییر می‌کند.

نمونه‌های مرکب: (Composite Samples) نماینده "یک دوره" از زمان

نمونه‌های مرکب از ترکیب چندین نمونه لحظه‌ای که در فواصل زمانی مشخص و به نسبت جریان فاضلاب در همان زمان جمع‌آوری شده‌اند، تشکیل می‌شوند. به عبارت دیگر، اگر جریان فاضلاب بیشتر باشد، حجم نمونه لحظه‌ای جمع‌آوری شده نیز بیشتر خواهد بود. این نمونه‌های ترکیبی سپس با هم مخلوط می‌شوند تا یک نمونه واحد را بسازند. مزیت اصلی نمونه‌های مرکب این است که ویژگی‌های فاضلاب را در یک دوره زمانی مشخص (مثلاً ۲۴ ساعت) به صورت میانگین نشان می‌دهند. این نوع نمونه‌برداری برای:

- محاسبه کارایی حوضچه‌های ته‌نشینی: زیرا نیاز به بررسی عملکرد در طول یک شیفت کاری یا روز کامل است.
 - پایش روزانه پارامترهایی مانند BOD و جامدات معلق: در فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی، که نیاز به درک میانگین بار آلی و ذرات در طول زمان دارند، استفاده می‌شوند.
- نمونه‌های مرکب به ما کمک می‌کنند تا تصویر جامع‌تر و واقعی‌تری از کیفیت فاضلاب در طول یک دوره عملیاتی به دست آوریم.

آزمایش‌های کلیدی آزمایشگاهی: رمزگشایی از کیفیت فاضلاب

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، مجموعه‌ای گسترده از آزمایش‌های آزمایشگاهی به طور منظم انجام می‌شوند. هر کدام از این آزمایش‌ها اطلاعات حیاتی برای ارزیابی کیفیت آب، نظارت بر عملکرد فرآیند و رعایت الزامات قانونی ارائه می‌دهند.

۱. کل جامدات معلق (TSS) و جامدات معلق فرار (VSS)

- **کل جامدات معلق (TSS):** این پارامتر به مقدار مواد جامدی گفته می‌شود که در یک نمونه فاضلاب وجود دارند و با عبور از فیلتر قابل جداسازی هستند. اندازه‌گیری آن به این صورت است که نمونه فاضلاب را از یک فیلتر الیاف شیشه‌ای عبور می‌دهند، فیلتر و ذرات جمع شده روی آن را در یک آون خشک می‌کنند و سپس وزن می‌کنند. TSS یک ویژگی بسیار مهم فاضلاب خانگی است و معمولاً بین ۱۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. حذف این ذرات معلق، چه از نوع آلی و چه معدنی، یکی از اهداف اصلی و اولیه هر تصفیه‌خانه فاضلاب است.
- **جامدات معلق فرار (VSS):** این بخش از TSS، به مواد آلی در جامدات معلق اشاره دارد که در اثر سوزاندن در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد از بین می‌روند. این آزمایش یک تخمین تقریبی از مقدار مواد آلی موجود در بخش جامد فاضلاب به دست می‌دهد. مواد جامد موجود در فاضلاب را می‌توان هم بر اساس ترکیب شیمیایی (آلی یا معدنی) و هم بر اساس ویژگی‌های فیزیکی (قابل ته‌نشینی، شناور و کلوئیدی) دسته‌بندی کرد. آزمایش محتوای جامدات، از جمله درصد جامدات و درصد مواد فرار، به طور روتین برای ارزیابی عملکرد فرآیندهای ته‌نشینی انجام می‌شود. همچنین، آزمایش جامدات کل (Total Solids) تمام مواد جامدی را که پس از تبخیر کامل آب از نمونه باقی می‌مانند، اندازه‌گیری می‌کند. جامدات فرار نیز آن دسته از جامدات معلق یا محلولی هستند که با قرار گرفتن در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حذف می‌شوند.

۲. نیاز بیوشیمیایی به اکسیژن (BOD) و نیاز شیمیایی به اکسیژن (COD)

- **نیاز بیوشیمیایی به اکسیژن (BOD):** معیاری است برای اندازه‌گیری مقدار اکسیژنی که میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه مواد آلی موجود در آب، معمولاً در یک دوره ۵ روزه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (BOD₅)، مصرف می‌کنند. این آزمایش همچنین اکسیداسیون شیمیایی مواد معدنی را نیز در نظر می‌گیرد. BOD نشان‌دهنده میزان مواد زیست‌تخریب‌پذیر و در واقع میزان غذای موجود برای میکروارگانیسم‌ها در فاضلاب است. سطوح بالای BOD به طور مستقیم باعث کاهش اکسیژن محلول در آب‌های طبیعی می‌شود و می‌تواند حیات آبریان را به خطر بیندازد. فرآیندهای تصفیه ثانویه به طور خاص طراحی شده‌اند تا با استفاده از ارگانیسم‌های طبیعی مانند باکتری‌ها، این مواد آلی نیازمند اکسیژن را پایدار کرده و حذف کنند. BOD₅ فاضلاب خانگی معمولاً بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. آزمایش BOD برای تعیین بارگذاری‌های تصفیه‌خانه، ارزیابی کارایی آن و اطمینان از انطباق با محدودیت‌های پساب NPDES بسیار مهم است.
- **نیاز شیمیایی به اکسیژن (COD):** معیاری است برای اندازه‌گیری مقدار کل مواد قابل اکسید شدن شیمیایی موجود در فاضلاب. این آزمایش میزان اکسیژن مورد نیاز برای اکسید کردن تمام ترکیبات، هم آلی و هم معدنی، با استفاده از یک عامل اکسیدکننده قوی و خارجی را اندازه‌گیری می‌کند. COD معمولاً در فاضلاب خانگی در محدوده ۲۰۰ تا ۷۰۰

میلی گرم در لیتر قرار دارد، اگرچه پساب‌های صنعتی می‌توانند این مقدار را به طور قابل توجهی افزایش دهند. تفاوت اصلی با BOD این است که COD تمام مواد قابل اکسید شیمیایی را اندازه‌گیری می‌کند، نه فقط آنهایی که توسط باکتری‌ها تجزیه می‌شوند.

- **pH:** یک مقیاس از ۰ تا ۱۴ است که میزان اسیدی یا قلیایی بودن آب را نشان می‌دهد؛ عدد ۷ به معنی خنثی بودن است. مقادیر کمتر از ۷ نشان‌دهنده افزایش اسیدیته و مقادیر بیشتر از ۷ نشان‌دهنده افزایش قلیائیت است. برای اینکه تصفیه بیولوژیکی به درستی انجام شود، pH فاضلاب به طور ایده‌آل باید در محدوده ۶/۵ تا ۸/۰ باشد، اگرچه محدوده قابل قبول ۶/۵ تا ۹/۰ است. نوسانات سریع یا خروج از این محدوده می‌تواند فعالیت میکروارگانیسم‌ها را به شدت کاهش دهد pH یک آزمایش روتین برای کنترل فرآیند است. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب همچنین برای پساب خروجی خود دارای محدودیت‌های pH هستند که معمولاً بین ۶/۰ تا ۹/۰ است pH بسیار بالا می‌تواند برای فعالیت بیولوژیکی در تصفیه‌خانه مهارکننده باشد.
- **قلیائیت (Alkalinity):** قلیائیت نشان‌دهنده ظرفیت فاضلاب برای خنثی کردن اسیدها است. این ماده به عنوان یک بافر عمل می‌کند و به حفظ pH پایدار در طول فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی کمک می‌کند. قلیائیت برای فعالیت بیولوژیکی ضروری است و بر حسب قلیائیت بی‌کربنات، کربنات و هیدروکسید اندازه‌گیری می‌شود. کمبود قلیائیت در مخازن لجن فعال می‌تواند از فرآیند حیاتی نیترات‌سازی (تبدیل آمونیاک به نیترات) جلوگیری کند. قلیائیت همچنین یک پارامتر کلیدی در فرآیندهای حذف مواد مغذی بیولوژیکی (BNR) است.
- **سختی (Hardness):** سختی آب عمدتاً به دلیل وجود یون‌های کلسیم و منیزیم ایجاد می‌شود. اگرچه سختی همیشه یک پارامتر مستقیم برای کنترل فرآیند تصفیه فاضلاب نیست، اما یک اندازه‌گیری رایج برای کیفیت آب است. محاسبات مربوط به انواع مختلف سختی بخشی از فرآیندهای نرم‌کننده آب هستند.

اکسیژن محلول (DO)

اکسیژن محلول (DO) به اکسیژن آزادی اشاره دارد که در آب یا فاضلاب حل شده است. این پارامتر برای انجام فرآیندهای بیولوژیکی هوازی که در تصفیه فاضلاب استفاده می‌شوند، ضروری است. سیستم‌های طبیعی آب (مانند رودخانه‌ها) اکسیژن را از اتمسفر و فرآیند فتوسنتز به دست می‌آورند، در حالی که تنفس موجودات، تجزیه مواد آلی و واکنش‌های شیمیایی آن را مصرف می‌کنند. سطوح DO شاخص‌های حیاتی برای عملکرد فرآیند در واحدهای بیولوژیکی مانند کانال‌های اکسیداسیون و مخازن لجن فعال هستند. به عنوان مثال، در فرآیند لجن فعال، میزان DO باید به طور ایده‌آل بالاتر از ۰/۵ میلی گرم در لیتر باشد تا میکروارگانیسم‌ها به درستی عمل کنند. آزمایش DO معمولاً با استفاده از نمونه‌های لحظه‌ای انجام می‌شود و یک پارامتر روتین است که برای اطمینان از عملکرد صحیح فرآیندها پایش می‌شود.

مواد مغذی (نیترژن و فسفر)

نیترژن و فسفر دو ماده مغذی بسیار مهم برای رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌ها در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب هستند. در حالی که وجود آن‌ها برای انجام فرآیند تصفیه ضروری است، مقادیر بیش از حد آن‌ها که وارد آب‌های پذیرنده (مانند رودخانه‌ها و دریاچه‌ها) می‌شوند، می‌توانند مشکلات جدی در کیفیت آب ایجاد کنند، از جمله شکوفایی جلبکی (رشد بی‌رویه جلبک‌ها) و تغذیه بیش از حد (اوتریفیکاسیون) که منجر به کاهش اکسیژن و مرگ آبزیان می‌شود.

- **نیترژن:** در فاضلاب خانگی، نیترژن از تجزیه پروتئین‌ها و اوره منشأ می‌گیرد. برای تصفیه بیولوژیکی، نیترژن باید به اشکالی مانند نیترژن آلی، آمونیاک (NH₃)، نیتریت (NO₂) یا نیترات (NO₃) وجود داشته باشد. آمونیاک در غلظت‌های بالا برای موجودات آبزی سمی است و باعث مصرف اکسیژن می‌شود. تصفیه‌خانه‌ها از فرآیندهای تخصصی مانند نیتریفیکاسیون (تبدیل آمونیاک به نیتریت و سپس نیترات) و دنیتریفیکاسیون (تبدیل نیترات به گاز نیترژن و خروج آن به جو) برای حذف نیترژن استفاده می‌کنند. فاضلاب خانگی معمولی حاوی ۲۰ تا ۸۵ میلی گرم در لیتر نیترژن کل است.

- **فسفر:** فسفر نیز برای فعالیت بیولوژیکی ضروری است و اگر به مقدار کافی وجود نداشته باشد، فرآیندهای تصفیه به درستی کار نمی‌کنند. برعکس، فسفر بیش از حد به آسیب رساندن به جریان‌ها و رشد بی‌رویه جلبک‌ها کمک می‌کند. فاضلاب خانگی معمولی حاوی ۶ تا ۲۰ میلی گرم در لیتر فسفر کل است. فرآیندهای حذف مواد مغذی بیولوژیکی (BNR) به طور خاص برای حذف نیترژن و فسفر تا سطوح بسیار پایین طراحی شده‌اند تا از آلودگی منابع آبی جلوگیری شود.

کلیفرم مدفوعی (میانگین هندسی)

باکتری‌های کلیفرم مدفوعی گروهی از باکتری‌ها هستند که وجود آن‌ها در آب نشان‌دهنده آلودگی احتمالی توسط فاضلاب انسانی یا حیوانی است. یکی از اهداف اصلی تصفیه فاضلاب، کاهش یا حذف ارگانیزم‌های بیماری‌زا (پاتوژن‌ها) است. بسیاری از مجوزهای تخلیه نیاز به آزمایش منظم برای باکتری‌های کلیفرم مدفوعی در پساب نهایی دارند. روش‌های آزمایش کلیفرم مدفوعی شامل مراحل خاصی برای نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل هستند. نتایج این آزمایش‌ها معمولاً به صورت میانگین هندسی تمام نتایج به دست آمده در طول یک دوره گزارش‌دهی (مثلاً ماهانه) گزارش می‌شوند. میانگین هندسی به این دلیل استفاده می‌شود که تأثیر مقادیر بسیار بالا یا بسیار پایین را کاهش می‌دهد و یک میانگین نماینده‌تر و قابل اعتمادتر برای شمارش باکتری‌ها ارائه می‌دهد.

جامدات قابل ته‌نشینی SSV

- **جامدات قابل ته‌نشینی (Settleable Solids):** این‌ها مواد جامدی در فاضلاب هستند که به دلیل وزن کافی، با نیروی گرانش به راحتی ته‌نشین می‌شوند. اندازه‌گیری جامدات قابل ته‌نشینی برای ارزیابی کارایی حوضچه‌های ته‌نشینی (زالال‌سازها) بسیار مهم است. مخروط ایمهاف (Imhoff cone) یک ابزار شیشه‌ای مخروطی شکل رایج است که برای اندازه‌گیری حجم این جامدات در یک نمونه فاضلاب استفاده می‌شود.
- **قابلیت ته‌نشینی (Settleability):** قابلیت ته‌نشینی یک آزمایش مهم برای کنترل فرآیند است که به طور خاص برای ارزیابی میزان خوب ته‌نشین شدن لجن فعال در تصفیه‌خانه‌ها استفاده می‌شود. در این آزمایش، نمونه‌ای از لجن فعال را در یک استوانه مدرج قرار می‌دهند و پس از فواصل زمانی مشخص (معمولاً ۳۰ و ۶۰ دقیقه)، حجم لجن ته‌نشین شده را اندازه‌گیری می‌کنند. حجم لجن ته‌نشین شده (SSV) حجمی (بر حسب میلی‌لیتر در لیتر یا درصد) است که لجن فعال پس از ته‌نشینی برای زمان مشخص اشغال می‌کند. این آزمایش، همراه با شاخص حجم لجن (SVI)، به اپراتورها کمک می‌کند تا کیفیت ته‌نشینی لجن و سلامت کلی لجن فعال را ارزیابی کنند. در عملکرد عادی، حجم لجن ته‌نشین شده در ۳۰ یا ۶۰ دقیقه معمولاً در محدوده ۴۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌لیتر است، با یک مایع شفاف و زلال در بالای جامدات ته‌نشین شده که نشان‌دهنده ته‌نشینی خوب لجن است (SVI (Sludge Volume Index). شاخص حجم لجن، میزان حجمی است که یک گرم از لجن فعال پس از ۳۰ دقیقه ته‌نشینی اشغال می‌کند و نشان‌دهنده تراکم‌پذیری لجن است. SVI بالا نشان‌دهنده لجن حجیم و بد ته‌نشین‌شونده است.

اهمیت کنترل کیفیت و ایمنی در آزمایشگاه

دقت نتایج آزمایشگاهی به همان اندازه اهمیت جمع‌آوری نمونه‌ها، به کنترل کیفیت دقیق و رعایت نکات ایمنی بستگی دارد.

۱. کالیبراسیون و نگهداری تجهیزات آزمایشگاهی

برای اطمینان از نتایج قابل اعتماد، کالیبراسیون منظم دستگاه‌های آزمایشگاهی ضروری است. به عنوان مثال:

- pH مترها باید قبل از هر استفاده یا حداقل روزانه با محلول‌های بافر استاندارد کالیبره شوند.
- DO مترها نیز نیاز به کالیبراسیون دوره‌ای دارند که معمولاً با استفاده از هوای اشباع از بخار آب یا محلول‌های استاندارد انجام می‌شود. نگهداری صحیح و تمیز کردن ظروف شیشه‌ای و تجهیزات آزمایشگاهی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. ظروف باید کاملاً تمیز و عاری از هرگونه آلودگی باشند تا نتایج آزمایش‌ها دستخوش خطا نشوند.

۲. کنترل کیفیت و تضمین کیفیت (QA/QC)

کنترل کیفیت (QC) شامل مجموعه‌ای از اقداماتی است که برای اطمینان از دقت و صحت نتایج آزمایشگاهی انجام می‌شود. این اقدامات شامل:

- استفاده از نمونه‌های شاهد (Blank Samples): برای اطمینان از عدم آلودگی معرف ها و ظروف.
- آزمایش نمونه‌های تکراری (Duplicate Samples): برای بررسی دقت و تکرارپذیری نتایج.

- استفاده از استانداردها و نمونه‌های مرجع: برای اطمینان از عملکرد صحیح دستگاه‌ها و روش‌ها. تضمین کیفیت (QA) یک سیستم گسترده‌تر است که شامل تمام فعالیت‌هایی می‌شود که برای اطمینان از کیفیت کلی فرآیند آزمایشگاهی از نمونه‌برداری تا گزارش‌دهی انجام می‌شود. برخی از آزمایشگاه‌ها برای افزایش اعتبار نتایج خود، گواهینامه‌های استاندارد مانند ISO 17025 را دریافت می‌کنند.

۳. ایمنی در آزمایشگاه

کار با مواد شیمیایی و نمونه‌های فاضلاب، خطراتی را به همراه دارد. رعایت پروتکل‌های ایمنی در آزمایشگاه ضروری است:

- استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE) شامل عینک ایمنی، دستکش و روپوش آزمایشگاهی.
- شناخت و استفاده صحیح از هودهای آزمایشگاهی برای کار با مواد فرار.
- آگاهی از مکان وسایل ایمنی اضطراری مانند دوش اضطراری و چشم‌شوی.
- دفع صحیح زباله‌های شیمیایی و بیولوژیکی.

فرکانس و نقاط نمونه‌برداری: کجا و کی نمونه بگیریم؟

اپراتورها باید از نقاط کلیدی و فرکانس‌های معمول نمونه‌برداری برای پایش فرآیند مطلع باشند:

- ورودی تصفیه‌خانه (Influent): برای اندازه‌گیری بار آلاینده ورودی (BOD, TSS, COD, pH, Nutrients) معمولاً روزانه.
- مراحل مختلف فرآیند (Intermediate Points): برای پایش کارایی هر واحد (مثلاً پس از ته‌نشینی اولیه، هوادهی، ته‌نشینی ثانویه). فرکانس بستگی به فرآیند دارد (روزانه، شیفی).
- خروجی نهایی تصفیه‌خانه (Effluent): برای اطمینان از مطابقت با استانداردهای تخلیه (BOD, TSS, COD, pH, DO, Nutrients, Fecal Coliform) معمولاً روزانه یا هفتگی. فرکانس نمونه‌برداری برای پارامترهای مختلف متفاوت است؛ برخی نیاز به پایش مداوم مانند pH و DO در برخی واحدها دارند، در حالی که برخی دیگر ممکن است به صورت روزانه، هفتگی یا ماهانه آزمایش شوند.

مقادیر بهینه و مجاز پارامترهای کلیدی تصفیه فاضلاب

نتایج آزمایشگاهی صرفاً اعداد نیستند؛ آن‌ها نقشه راهی برای اپراتورها هستند تا وضعیت تصفیه‌خانه را درک کرده و در صورت نیاز، اقدامات لازم را انجام دهند.

- نسبت BOD/COD: این نسبت می‌تواند نشان‌دهنده قابلیت زیست‌تخریب‌پذیری فاضلاب باشد. هرچه این نسبت بالاتر باشد، فاضلاب راحت‌تر توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌شود. این نسبت برای ارزیابی ورود پساب‌های صنعتی نیز مفید است.
- نسبت (F/M) غذا به میکروارگانیسم: در فرآیند لجن فعال، این نسبت برای کنترل بارگذاری سیستم حیاتی است F به معنای بار آلی وارد شده به حوض هوادهی و M به معنای جرم میکروارگانیسم‌های فعال است. کنترل این نسبت بهینه، برای حفظ جمعیت میکروبی سالم و کارآمد ضروری است.
- شاخص حجم لجن (SVI): همانطور که پیش‌تر اشاره شد، SVI نشان‌دهنده تراکم‌پذیری لجن فعال است SVI بالا (معمولاً بالای ۱۵۰ میلی‌لیتر بر گرم) نشان‌دهنده مشکل "بالکینگ" لجن است که در آن لجن به خوبی ته‌نشین نمی‌شود و ممکن است از حوضچه‌های ته‌نشینی خارج شود. در چنین مواردی، اپراتورها باید اقدامات اصلاحی مانند تنظیم سن لجن (SRT)، تغییر نرخ هوادهی یا افزودن مواد شیمیایی را در نظر بگیرند.

- **برخورد با نتایج غیرمنتظره:** اگر نتایج آزمایش‌ها به طور ناگهانی از حد انتظار خارج شوند (مثلاً افت ناگهانی DO در حوض هواده‌ی یا افزایش شدید TSS در خروجی)، این می‌تواند نشان‌دهنده یک مشکل اساسی در تصفیه‌خانه باشد. اپراتور باید علت را بررسی کند (مثلاً قطع برق، ورود یک آلاینده سمی، خرابی تجهیزات) و بلافاصله اقدامات اصلاحی لازم را انجام دهد.

در ادامه جدول مقادیر بهینه و مجاز پارامتر های کلیدی تصفیه فاضلاب را مشاهده می کنید.

www.daneshemohit.ir

پیوست: پارامترهای کلیدی تصفیه فاضلاب - مقادیر بهینه و مجاز

Parameter	Optimal Range	Typical or Permissible Limits	Notes
pH	6.5 – 8.0	6.0 – 9.0	Ideal for biological treatment (EPA/WHO)
DO (Dissolved Oxygen)	> 2 mg/L in aeration tanks	> 0.5 mg/L minimum	Essential for aerobic microbial activity (Metcalf & Eddy)
TSS (Total Suspended Solids)	-	Influent: 100–350 mg/L; Effluent: <30 mg/L	Key indicator of sedimentation efficiency (EPA)
VSS (Volatile Suspended Solids)	-	Typically 70–80% of TSS	Represents biodegradable portion (Metcalf & Eddy)
BOD ₅	-	Influent: 100–300 mg/L; Effluent: <30 mg/L	Indicates organic loading (EPA)
COD	-	Influent: 200–500 mg/L; Effluent: <50–100 mg/L	Measures total oxidizable compounds (EPA/WHO)
BOD/COD	0.4 – 0.8	> 0.6 preferred	Indicates biodegradability (Metcalf & Eddy)
Alkalinity	> 50 mg/L as CaCO ₃	Typical: 100–250 mg/L	Maintains pH stability (Metcalf & Eddy)
Hardness	-	100–500 mg/L	Calcium and magnesium ions (WHO)
Total Nitrogen (TN)	-	Influent: 20–85 mg/L; Effluent: <10 mg/L	Managed via nitrification/denitrification (EPA)
Ammonia (NH ₃ -N)	<1 mg/L in effluent	Influent: 10–40 mg/L	Toxic to aquatic life at high levels (EPA)
Total Phosphorus (TP)	-	Influent: 6–20 mg/L; Effluent: <1 mg/L	Controlled to prevent eutrophication (EPA/WHO)

Fecal Coliform	-	<200 MPN/100mL	Indicates pathogen presence (EPA standard)
Temperature	15 – 35 °C	-	Affects microbial activity (Metcalf & Eddy)
SSV (Settleable Solids Volume)	400 – 700 mL/L	Max: 1000 mL/L	Measured in 30–60 minutes using Imhoff cone
SVI (Sludge Volume Index)	50 – 150 mL/g	<150 mL/g	High SVI indicates bulking (Metcalf & Eddy)
F/M Ratio	0.2 – 0.5 kg BOD/kg MLSS/day	Design-specific	Crucial for stable biological operation

فصل هشتم

ایمنی در تصفیه خانه های فاضلاب

www.daneshemohit.ir

عملکرد بی‌عیب و نقص و ایمن تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب، ستون فقرات تأمین آب سالم و دفع بهداشتی فاضلاب هستند. این امر به شدت به دو عامل کلیدی بستگی دارد: شیوه‌های نگهداری مؤثر و یک برنامه ایمنی قوی و جامع. اپراتورها در این مراکز، نقش محوری ایفا می‌کنند و باید از مهارت و دقت بالایی برخوردار باشند تا بتوانند تأسیسات را به بهترین شکل ممکن اداره و نگهداری کنند.

اهمیت بنیادین نگهداری

نگهداری صرفاً یک کار جانبی نیست، بلکه قلب تپنده عملکرد قابل اعتماد هر تصفیه‌خانه فاضلاب است. وقتی از نگهداری صحیح صحبت می‌کنیم، در واقع داریم از افزایش طول عمر مفید تجهیزات و ماشین‌آلات گران‌قیمت، و افزایش چشمگیر کارایی آن‌ها حرف می‌زنیم. چگونه؟ با تشخیص زودهنگام مشکلات و رفع آن‌ها پیش از اینکه به خرابی‌های بزرگ و پرهزینه تبدیل شوند. تصور کنید یک پمپ مهم به دلیل عدم روغن‌کاری ساده از کار بیفتد و باعث توقف کل خط شود؛ اینجاست که اهمیت نگهداری پیشگیرانه مشخص می‌شود.

متأسفانه، آمارها نشان می‌دهد که صنعت آب و فاضلاب نرخ بالایی از حوادث و صدمات شغلی را به خود اختصاص داده است. بخش عمده این حوادث، ریشه در نبود برنامه‌های ایمنی مدیریت‌شده و عدم رعایت شیوه‌های کاری ایمن دارد. اینجاست که نقش اپراتورهای ماهر پررنگ می‌شود؛ آن‌ها باید وظیفه مهم نگهداری پیشگیرانه را با دقت انجام دهند تا از خرابی‌های اساسی و پیامدهای ناگوار آن‌ها جلوگیری کنند. بدون یک سیستم نگهداری مناسب، تأسیسات ممکن است از دستیابی به ظرفیت بهینه خود در تأمین آب یا تصفیه فاضلاب باز بمانند.

همچنین، نباید از اهمیت حیاتی تصفیه صحیح و کارآمد لجن غافل شد. لجن، محصول جانبی فرآیند تصفیه است و مدیریت نامناسب آن می‌تواند کل سیستم را مختل کند. یک سیستم تصفیه لجن، حتی با طراحی عالی، اگر به درستی اداره نشود، مؤثر نخواهد بود. و "اداره صحیح" به معنای عملکرد صحیح اپراتور است که این نیز با آموزش جامع و مداوم آغاز و پایان می‌یابد. در نهایت، نگهداری صحیح، مستقیماً با عملکرد بی‌نقص سیستم لوله‌کشی مرتبط است؛ سیستمی که باید بدون نشئی و گرفتگی کار کند.

یک برنامه نگهداری پیشگیرانه (PM) جامع

یک برنامه نگهداری پیشگیرانه (PM) قوی و فعال، فراتر از تعمیرات پس از خرابی است. این برنامه شامل سرویس منظم و برنامه‌ریزی‌شده تمام ماشین‌آلات و تجهیزات دیگر است. این سرویس‌ها با استفاده از ابزارهای مناسب، آزمایش‌های دقیق و روغن‌کاری به موقع انجام می‌شوند. به عنوان مثال، در یک سیستم لوله‌کشی، انتخاب صحیح شیرها و نگهداری پیشگیرانه منظم آن‌ها برای اطمینان از عملکرد درست سیستم حیاتی است.

همانطور که پیشتر گفته شد، تجربه نشان داده که عدم وجود برنامه‌های ایمنی مدیریت‌شده و شیوه‌های کاری ایمن، عامل اصلی نرخ بالای حوادث شغلی در صنعت آب و فاضلاب است. اما با توجه دقیق به رویه‌های نگهداری پیشگیرانه، می‌توانید از بروز بسیاری از مشکلات و دروسرها جلوگیری کنید. به عنوان نمونه، یک برنامه منظم نگهداری پیشگیرانه برای دستگاه‌های کلرزنی (کلریناتورها) ضروری است تا عملکرد صحیح آن‌ها تضمین شود. همچنین، برنامه‌های نگهداری باید برای بخش‌هایی مانند سیستم تأمین دی‌اکسید گوگرد تدوین شوند، که شامل بازرسی دستگاه‌های بالابر و سیستم‌های تهویه مربوط به آن است.

جزئیات نگهداری از تجهیزات خاص

روش‌های نگهداری بسته به نوع و پیچیدگی تجهیزات متفاوت است، اما اصول کلی همیشه شامل روغن‌کاری منظم، تمیزکاری دقیق و بازرسی مستمر برای شناسایی هرگونه فرسودگی یا آسیب است. تمامی تجهیزات باید دقیقاً مطابق با توصیه‌های سازنده یا دفترچه راهنمای بهره‌برداری و نگهداری (O&M) اختصاصی کارخانه، نگهداری شوند.

- **پمپ‌ها:** این قلب تپنده سیستم‌ها، نیاز به توجه ویژه دارند. اپراتورها باید قادر به انجام کارهای ساده نگهداری و تعمیرات جزئی روی پمپ‌ها باشند. در بازدیدهای روتین از ایستگاه‌های پمپاژ (چاه‌ها)، باید به صداها، غیرعادی در پمپ، خطوط

لوله یا شیرها توجه کرد. اطمینان از کارکرد صحیح شیرهای چرخشی (سیکل)، بررسی موتورها برای گرمای بیش از حد و جلوگیری از روشن و خاموش شدن متوالی (کوتاه مدت) پمپ چاه از اهمیت بالایی برخوردار است. پمپ‌هایی که در ایستگاه‌های پمپاژ زیرزمینی با طراحی چاه مرطوب-چاه خشک استفاده می‌شوند، معمولاً از پمپ‌های ضد گرفتگی- (Non-clog type) هستند و برای جریان آب/فاضلاب، فشار (هد) کافی را ایجاد می‌کنند. پمپ‌های پیستونی به دلیل نحوه کارکردشان، برای جلوگیری از نشست نیاز به رینگ‌های آببندی (Packing Rings) و برای کاهش اصطکاک نیاز به روغن‌کاری دارند؛ همچنین، شیرهای آن‌ها باید به صورت دوره‌ای تعویض شوند. پمپ‌های بازگرداننده در فیلترهای قطره‌ای نیز بخش حیاتی هستند و نگهداری منظمی را می‌طلبند.

- **شیرها:** اپراتورها باید به طور کامل با انواع شیرها و عملکرد آن‌ها آشنا باشند، به خصوص آن‌هایی که بخش‌های حیاتی یک سیستم لوله‌کشی هستند. این آشنایی برای بازرسی، تنظیم، تعمیر یا تعویض آن‌ها ضروری است. هدف اصلی نگهداری سیستم لوله‌کشی، حفظ عملکرد صحیح آن است، یعنی بدون نشستی و گرفتگی عمل کند. شیرها وظایف متنوعی دارند: جداسازی بخش‌های مختلف، تخلیه سیستم، تنظیم یا کاهش جریان، کنترل سطح مایعات، کنترل ضربه قوچ (کوبش آب)، تخلیه هوا از سیستم یا جلوگیری از برگشت جریان. تمیز کردن دوره‌ای، تنظیم مکانیزم‌های مکانیکی و تنظیم مجدد شیرها از جمله کارهای نگهداری برای اجزایی مانند تله‌های بخار هستند. اجزای اصلی یک سیستم لوله‌کشی که نیاز به نگهداری دارند شامل: لوله، فلنج، اتصالات، پیچ و مهره‌ها، واشرها و خود شیرها هستند. در لوله‌کشی فلزی، عواملی مانند تغییرات دما، وجود ناخالصی‌ها، جابجایی تکیه‌گاه‌ها، خوردگی و ضربه قوچ باید در نظر گرفته شوند. در لوله‌کشی غیرفلزی، اتصال و نگهداری بخش‌های مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است. شیرهای دروازه‌ای (Gate valves)، شیرهای قطع‌کننده سرویس (Service stop valves) و شیرهای پروانه‌ای (Butterfly valves) نمونه‌هایی هستند که برای جداسازی و تغییر مسیر جریان استفاده می‌شوند. شیرهای یک‌طرفه (Check valves) همانطور که از نامشان پیداست، فقط اجازه جریان در یک جهت را می‌دهند. شیرهای کروی (Globe valves) معمولاً برای کنترل دقیق فشار و جریان استفاده می‌شوند. اپراتورها باید شیرها را به طور روتین باز و بسته کنند تا از کارکرد صحیح و روان آن‌ها مطمئن شوند.

- **تجهیزات تزریق مواد شیمیایی:** کالیبراسیون صحیح این تجهیزات تضمین می‌کند که دوزهای شیمیایی را می‌توان با اطمینان کامل تنظیم کرد. کالیبراسیون دستگاه دوزینگ شیمیایی نه تنها مصرف مواد شیمیایی را بهینه می‌کند، بلکه به اپراتور اطمینان می‌دهد که از قابلیت‌های دستگاه در تنظیمات خاص آگاه است. کالیبراسیون باید حداقل سالی یک بار انجام شود و هر زمان که غلظت یا خلوص ماده شیمیایی، یا خود دستگاه تنظیم می‌شود، یا وقتی که جریان آب تصفیه شده تغییر می‌کند، تکرار گردد. در حالت ایده‌آل، کالیبراسیون باید هر بار که نگهداری روی تجهیزات انجام می‌شود، صورت گیرد. تجهیزات تزریق شیمیایی شامل محلول‌های شیمیایی، دستگاه‌های تزریق (فیدرها) و انواع مختلف فیدرها هستند. سیستم‌های خاصی مانند سیستم‌های هیپوکلریت سدیم نیاز به توجه ویژه به لوله‌ها، اتصالات و شیرها دارند. برای سیستم‌های گاز کلر، نگهداری برای اواپراتورها، کلریناتورها و دیفیوزرها لازم است. نگهداری سولفوناتور نیز شامل تمیز کردن و بررسی لوله‌کشی و اتصالات آن است.

- **مکانیزم‌های زلال‌ساز (ته‌نشینی):** قبل از راه‌اندازی هر واحد زلال‌ساز، باید مخزن و تمامی تجهیزات مرتبط به دقت بازرسی شوند. این بازرسی شامل بررسی شیرهای کنترل، تمیزی مخزن، سطح روغن‌کاری و روغن درایو جمع‌آوری‌کننده لجن و همچنین بررسی فرسودگی زنجیر/چرخ‌دنده درایو است. نگهداری روزانه شامل شستشوی مداوم رسوبات جامد، گریس و لجن از راه‌روها، نرده‌ها و تمام قطعات در معرض است. تجهیزات متحرک باید طبق مشخصات سازنده روغن‌کاری شوند. نگهداری پیشگیرانه نیز باید کاملاً از مشخصات سازنده پیروی کند. پیچ‌ها را برای شل بودن، خوردگی و فرسودگی بررسی کنید. فرسودگی زنجیر و چرخ‌دنده‌ها را به دقت چک کنید. سرریزها و ناودان‌ها را مرتباً تمیز کنید تا از رشد بیولوژیکی (جلبک و خزه) و تجمع جامدات که می‌توانند در کارکرد سیستم اختلال ایجاد کنند، جلوگیری شود. زلال‌سازهای مستطیلی به دلیل طراحی‌شان، نیاز به نگهداری ویژه‌ای از تیغه‌ها، زنجیر و چرخ‌دنده دارند. تجهیزات مکانیکی باید به طور منظم روغن‌کاری و نگهداری شوند. تمامی تجهیزات را به طور منظم برای کارکرد صحیح و بدون نقص بازرسی کنید.

- **تجهیزات هوادهی:** نگهداری این تجهیزات شامل روغن‌کاری و نگهداری آن‌ها طبق توصیه‌های سازنده یا دفترچه راهنمای بهره‌برداری و نگهداری کارخانه است. برای هوادهای مکانیکی و سیستم‌های هوای منتشر شده، نگهداری شامل بررسی دمنده‌ها، دیفیوزرها، پمپ‌های هواده (Air lift pumps) و موتورها است. در کانال‌های اکسیداسیون (Oxidation)

(ditches)، نگهداری روتور حیاتی است که شامل روغن‌کاری، تنظیم کشش و بررسی فرسودگی می‌شود. اطمینان حاصل کنید که هوای کافی برای حفظ شرایط هوایی (یعنی وجود اکسیژن برای میکروارگانیسم‌ها) تأمین می‌شود.

- **هضم‌کننده‌ها:** تجهیزات هضم بی‌هوایی شامل مخازن هضم، پمپ‌های بیوسالید (لجن)، تجهیزات گرمایشی، تجهیزات مخلوط‌کننده، سیستم‌های ذخیره‌سازی گاز، تجهیزات تمیزکاری و تجهیزات ایمنی (مانند شیرهای تخلیه خلاء/فشار، تله‌های شعله، تجهیزات الکتریکی ضد انفجار) است. بسیار مهم است که این وسایل ایمنی حیاتی برای عملکرد صحیح بررسی و نگهداری شوند. آزمایش کنترل فرآیند هضم‌کننده هوایی شامل بررسی قلیانیت، pH، درصد جامدات و جامدات فرار است. حفظ سطوح عملیاتی مناسب در هضم‌کننده‌ها کلیدی است. واحدهای ته‌نشینی-هضم ترکیبی نیز نیاز به نگهداری تجهیزات مکانیکی، لوله‌ها، شیرها و ساختار اصلی دارند.
- **تجهیزات آب‌گیری:** آب‌گیری لجن فرآیندی است که رطوبت و حجم لجن را کاهش می‌دهد تا دفع یا استفاده مجدد از آن اقتصادی‌تر باشد. پرس‌های فیلتر تسمه‌ای نیاز به بررسی منظم مسیر حرکت تسمه، سیستم شستشو، نوار نقاله و تجهیزات مکانیکی دارند. فیلترهای وکیوم دوار نیز به نگهداری محیط فیلتر، درام، سیستم وکیوم، تجهیزات تزریق شیمیایی و نوار نقاله دارند. نگهداری سانتریفیوژها شامل روغن‌کاری و بررسی فرسودگی است. نگهداری دستگاه شستشوی شن (Grit washer) شامل بازرسی برای خوردگی، بررسی قطعات متحرک برای فرسودگی و روغن‌کاری/گریس‌کاری تجهیزات است.
- **توری‌ها/خردکن‌ها/حذف‌شن:** توری‌هایی که با دست تمیز می‌شوند، نیاز به توجه مداوم اپراتور و تمیز کردن مکرر دارند. توری‌هایی که با دستگاه تمیز می‌شوند، نیاز به روغن‌کاری و تنظیم دارند. نگهداری برای خردکن‌ها (Comminutors) و بارمیناتورها (Barminutors) شامل تراز کردن، تیز کردن و تعویض تیغه‌ها، روغن‌کاری و نگهداری پیشگیرانه عمومی است. کانال‌های شن نیاز به بازرسی برای خوردگی و فرسودگی قطعات متحرک، به علاوه روغن‌کاری و گریس‌کاری دارند. جداکننده‌های شن و ماسه سیکلونی نیاز به نگهداری سیکلون، پمپ شن، نوار نقاله پیچی و موتور محرکه دارند و در صورت فرسودگی بیش از حد، قطعات باید تعویض شوند. دستگاه‌های شستشوی شن نیز نیاز به بازرسی برای خوردگی، بررسی قطعات متحرک برای فرسودگی و روغن‌کاری دارند.
- **دیسک‌های بیولوژیکی دوار (RBCs):** نگهداری این سیستم‌ها شامل بررسی و مراقبت از تسمه‌محرک‌ها، کاهنده‌های سرعت، بلبرینگ‌ها، موتورها و زنجیرمحرک‌ها است. نظم و تمیزی (خانه‌داری) در این بخش نیز بسیار مهم است.
- **فیلترهای قطره‌ای:** نیازهای نگهداری شامل روغن‌کاری تجهیزات مکانیکی و حذف زباله از سطح و دهانه‌ها است. نگهداری خاصی برای بلبرینگ‌ها و درزگیرها، بازوهای توزیع‌کننده، نازل‌های ثابت، زیرزهکش‌ها و پمپ‌های بازگرداننده لازم است. تمیز کردن سیستم زیرزهکش هر سه تا شش ماه آن را باز و تمیز نگه می‌دارد، باعث خروج سریع پساب و بهبود جریان هوای بدون مانع می‌شود.
- **برکه‌ها:** نگهداری برکه‌ها شامل کنترل لجن‌های روی سطح آب، کنترل علف‌های هرز و حشرات و همچنین نگهداری از خاکریزها است. بخش ورودی و تجهیزات توری نیاز به تمیز کردن منظم دارند. هوادهای سطحی نیز نیاز به نگهداری دوره‌ای دارند.

نظم و تمیزی و نقش آن در بهره‌برداری

نظم و تمیزی عالی برای یک تصفیه‌خانه فاضلاب که به خوبی اداره می‌شود، یک اصل اساسی است. این شامل پاکسازی فوری نشته‌ها، کثیفی‌ها و زباله‌ها است. تمیز کردن سرریزها و نودان‌ها بسیار مهم است، زیرا تجمع جلبک‌ها و مواد دیگر می‌تواند باعث مشکل در جریان و کاهش کارایی شود. مواد انباشته شده در کانال‌های شن و مناطق توری باید به طور منظم و سریع حذف شوند.

در پکیج‌پلنت‌ها (Package plants)، روزانه باید مخزن هوادهای و محفظه نهایی را با شلنگ شستشو داد، سرریزها را برس کشید و چربی و مواد شناور را از روی سطح جمع‌آوری کرد. در کانال‌های اکسیداسیون (Oxidation ditches)، نگهداری روزانه شامل خراشیدن یا برس کشیدن کانال و سرریزها و دیوارهای زلال‌ساز و حذف مواد انباشته شده از توری میله‌ای، سطح زلال‌ساز و مناطق

لجن است. نگهداری برکه نیز شامل تمیز و عاری نگه داشتن منطقه از زباله است. مواد انباشته شده روی بافل‌ها، سرریزها و ناودان‌های لجن باید بلافاصله با شلنگ شسته و حذف شوند تا از تولید بو و جذب مگس جلوگیری شود.

رویه‌های ایمنی: اولویت اول

صنعت آب و فاضلاب متأسفانه دارای آمار بالایی از صدمات شغلی است که این روند همچنان رو به وخامت است، حتی با وجود قانون ایمنی و بهداشت شغلی (OSHA) در واقع، صنعت تصفیه فاضلاب یکی از بدترین سوابق ایمنی را در بین صنایع دارد. این وضعیت نگران‌کننده اغلب به دلایل زیر است: عدم آگاهی اپراتورها از شرایط ناایمن، عدم اصلاح فوری این شرایط و عدم آشنایی کافی با رویه‌های ایمن.

ایمنی تصفیه‌خانه عمدتاً به نگرش و رفتار پرسنل کارخانه بستگی دارد. تجربه نشان داده است که نبود برنامه‌های ایمنی مدیریت‌شده و روش‌های کاری ایمن، عامل اصلی نرخ بالای آسیب‌های شغلی است. برای جلوگیری از آسیب‌ها، اپراتورها باید از خطرات دوری کنند و رویه‌های ایمن را با دقت رعایت کنند. یک برنامه ایمنی باید بخش فعال و جدایی‌ناپذیر از عملیات روزمره کارخانه باشد.

- **قوانین کلی ایمنی:** فکر کردن به ایمنی در هر لحظه می‌تواند تعداد حوادث را به شدت کاهش دهد. همیشه قبل از خوردن یا سیگار کشیدن، دست‌ها را کاملاً بشویید. قبل از رفتن به خانه، لباس کار را عوض کرده و جداگانه از لباس‌های خانواده بشویید. هنگام انجام هر کار خطرناک، همیشه با یک کمک‌کننده همراه باشید.
- **تجهیزات حفاظت فردی (PPE):** در تصفیه‌خانه‌ها ممکن است گازهای خطرناکی مانند متان و سولفید هیدروژن وجود داشته باشند، بنابراین اپراتورها باید از وسایل ایمنی مناسب (PPE) استفاده کنند. این شامل کفش ایمنی با نوک فولادی، ساق‌بند و کفی ضد لغزش است. تجهیزات حفاظتی برای کار با مواد شیمیایی (مانند نشت کلر) بسیار مهم هستند. در مواقع اضطراری، تجهیزات ایمنی اضطراری باید برای اپراتورها در دسترس باشند.
- **قفل/برچسب‌گذاری (Lock-out/Tag-out):** این یک قانون ایمنی بسیار مهم و اساسی است. برق همیشه باید قبل از شروع هرگونه کار روی تجهیزات قطع شده، برچسب‌گذاری (Tag-out) و قفل (Lock-out) شود. کلید قفل باید همیشه نزد خود شخصی باشد که آن را قفل کرده است. هیچ کس به جز فردی که دستگاه قفل/برچسب‌گذاری را نصب کرده، مجاز به حذف آن نیست.
- **ورود به فضای محدود:** فضاهای محدود (مانند مخازن، چاه‌ها و گودال‌ها) می‌توانند خطرناک باشند. اگر احتمال ایجاد یک اتمسفر خطرناک (مانند کمبود یا افزایش اکسیژن، شرایط انفجاری یا وجود گازهای سمی) وجود دارد، باید اقدامات ایمنی اضافی برای ورود به فضای محدود انجام شود و ممکن است مجوز ورود به فضای محدود نیز مورد نیاز باشد. همیشه قبل از ورود به فضاهای محدود، آن‌ها را تهویه کنید تا هوای داخل ایمن شود.
- **ایمنی در کار با مواد شیمیایی:** اپراتورها در تصفیه‌خانه‌ها با مواد شیمیایی خطرناک سروکار دارند. محلول هیپوکلریت سدیم یک مایع خورنده است؛ بنابراین، اقدامات احتیاطی برای دست زدن به مواد خورنده، مانند اجتناب از تماس با فلزات، باید به دقت رعایت شود. برای کلر، خطرات خاصی شامل سمیت بالای آن و پتانسیل نشت وجود دارد. تجهیزات حفاظتی مناسب، سیستم‌های تشخیص نشت (مانند استفاده از اسواپ آمونیاک)، رویه‌های اضطراری و کیت‌های تعمیر نشت برای مواقع ضروری بسیار مهم هستند. پرسنل باید محل و نحوه استفاده از تمام تجهیزات حفاظتی را به خوبی بدانند. برای دی‌اکسید گوگرد نیز، آگاهی از پاسخ‌های بدن به مواجهه با آن و رویه‌های تشخیص نشت (با اسواپ آمونیاک یا بوبیدن) و رسیدگی به نشت ضروری است. در این موارد نیز، استفاده از تجهیزات ایمنی اضطراری حیاتی است.
- **ایمنی الکتریکی:** اپراتورها ممکن است تعمیرات جزئی را روی تجهیزات الکتریکی پایه انجام دهند، اما کارهای الکتریکی پیچیده و حساس باید فقط توسط پرسنل واجد شرایط و متخصص انجام شود. قطع برق قبل از کار بر روی هرگونه تجهیزات الکتریکی یک قانون ایمنی بنیادی است. همیشه از خطرات احتمالی ناشی از سیم‌های لخت، اتصالات شل و موتورها آگاه باشید.

- **سطوح لغزنده:** اپراتورها چه در داخل ساختمان و چه در فضای باز کار می‌کنند و اغلب در معرض رامروهای لغزنده قرار می‌گیرند. تمیز کردن فوری لکه‌های روغن و گریس روی رامروها برای جلوگیری از حوادث ضروری است. استفاده از مواد ضد لغزش روی رامروها می‌تواند به شدت پتانسیل لیز خوردن و افتادن را کاهش دهد.
- **عفونت‌ها و بیماری‌ها:** اپراتورها ممکن است در معرض بسیاری از باکتری‌ها و ویروس‌های بیماری‌زا قرار بگیرند. فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه حاوی باکتری‌ها و ویروس‌های بیماری‌زا از انسان‌ها است. نمونه‌هایی از بیماری‌های منتقله از آب شامل حصیه، کزاز، هپاتیت، دیسانتري و گاستروانتریت هستند. همچنین پروتوزوآها (مانند ژیا‌ردیا و کریپتوسپوریدیوم) و ویروس‌ها نیز میکروارگانیسم‌های مهمی هستند، به ویژه به عنوان عوامل بیماری‌زای منتقله از آب. بنابراین، تمام اپراتورها باید همیشه بهداشت شخصی خوب و دقیق را رعایت کنند. همیشه قبل از خوردن یا سیگار کشیدن، دست‌ها را کاملاً بشویید. قبل از رفتن به خانه، لباس کار را عوض کرده و جداگانه از لباس‌های خانواده بشویید تا از انتقال احتمالی عوامل بیماری‌زا جلوگیری شود.

اصول کلی ایمنی و رویه‌های ایمن: ستون فقرات یک محیط کار مطمئن

اصول ایمنی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، طیف وسیعی از دستورالعمل‌ها و رویه‌ها را شامل می‌شود که هر کدام برای کاهش خطرات خاص طراحی شده‌اند.

- **ایمنی برق: تهدید نامرئی، پروتکل‌های ضروری**
 - برق، یک منبع انرژی قدرتمند و در عین حال خطرناک، نیازمند احتیاط فوق‌العاده است. قبل از هرگونه کار بر روی تجهیزات الکتریکی یا مکانیکی متصل به برق، قطع کامل منبع تغذیه الزامی است. این قاعده طلایی، از روشن شدن تصادفی ماشین‌آلات و شوک الکتریکی جلوگیری می‌کند.
 - همیشه در مورد سیم‌کشی‌ها و اتصالات برق هوشیار باشید. از وضعیت صحیح کابل‌ها، عایق‌بندی و عدم وجود فرسودگی یا آسیب‌دیدگی اطمینان حاصل کنید.
 - رعایت استاندارد Lockout/Tagout (قفل‌گذاری/برچسب‌گذاری) سازمان OSHA، یک الزام قانونی و عملی است. این استاندارد تضمین می‌کند که قبل از انجام هرگونه تعمیر، نگهداری یا تنظیمات، تجهیزات از منابع انرژی خود جدا شده و قفل شوند تا از راه‌اندازی غیرمنتظره و خطرات الکترومکانیکی جلوگیری شود.
- **بهداشت فردی و سلامت: خط دفاع اول در برابر پاتوژن‌ها**
 - فاضلاب سرشار از میکروارگانیسم‌ها، ویروس‌ها و باکتری‌های بیماری‌زا (پاتوژن‌ها) است. بنابراین، شستشوی کامل دست‌ها با آب و صابون (و در صورت امکان، استفاده از مواد ضدعفونی‌کننده دست) قبل از غذا خوردن، سیگار کشیدن یا ترک محل کار، حیاتی است. این اقدام ساده، از انتشار بیماری‌ها و عفونت‌ها به بدن اپراتورها و خانواده‌هایشان جلوگیری می‌کند.
 - آگاهی از خطرات عفونت‌ها و بیماری‌های ناشی از فاضلاب ضروری است. بیماری‌هایی مانند ژیا‌ردیاسیس، سالمونلوز، و هپاتیت می‌توانند از طریق تماس مستقیم یا غیرمستقیم با فاضلاب منتقل شوند. اگرچه بیماری‌هایی مانند حصیه و وبا تا حد زیادی با ضدعفونی‌کننده‌ها کنترل شده‌اند، اما همیشه احتمال مواجهه وجود دارد.
 - پاتوژن‌های موجود در هوا نیز یک نگرانی مهم هستند. اسپری بیوسالید مایع (مثلاً از طریق صفحات پاشش یا شلنگ‌های فشار بالا) یا ذرات ریز بیوسالید آبگیری شده، می‌توانند پاتوژن‌ها را به هوا منتقل کنند. گرچه کاربردهای اسپری فشار بالا معمولاً در سایت‌های بزرگ و دورافتاده با حداقل تأثیر عمومی انجام می‌شود و ذرات ریز از بیوسالید آبگیری شده عموماً برای سفر طولانی خیلی بزرگ هستند، اما آگاهی از این خطرات ضروری است.
 - مطالعات نشان داده‌اند که سطوح اسپریژیلوس فومیگاتوس (یک قارچ رایج) در تأسیسات کمپوست بایوسالید، ارتباط مستقیمی با فعالیت‌های سایت کمپوست دارد، که نشان‌دهنده مواجهه هوابرد بالقوه است. استفاده از ماسک‌های تنفسی مناسب در چنین محیط‌هایی توصیه می‌شود.

- **کار انفرادی: هرگز کاملاً تنها نباشید**

- در برخی موقعیت‌ها، ممکن است اپراتورها مجبور به کار انفرادی در مناطق دورافتاده یا ساعات غیرکاری باشند. در چنین شرایطی، پروتکل‌های ارتباطی منظم ضروری است. اپراتور باید در فواصل زمانی منظم با دفتر مرکزی یا همکاران تماس بگیرد و مطمئن شود که در صورت عدم گزارش، کسی برای بررسی وضعیت او اقدام خواهد کرد. استفاده از سیستم‌های هشدار شخصی (مانند دکمه‌های اضطراری) نیز می‌تواند مفید باشد.

- **جابه جایی و ذخیره سازی مواد شیمیایی: دقت و دانش**

- مواد شیمیایی مختلفی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب استفاده می‌شوند که هر کدام خطرات خاص خود را دارند.
- **پمپ‌های پرستالتیک:** برای انتقال مواد شیمیایی، اطمینان حاصل کنید که لوله پمپ در برابر خوردگی و تخریب ناشی از مواد شیمیایی در حال پمپاژ مقاوم است. همچنین، تعویض دوره‌ای این لوله‌ها در سر پمپ برای جلوگیری از نشست و اطمینان از عملکرد صحیح ضروری است. این پمپ‌ها فاقد سوپاپ یک‌طرفه یا دیافراگم هستند و سرعت جریان آن‌ها با تغییر سرعت چرخ‌دنده یا اندازه لوله تنظیم می‌شود.
- **پمپ‌های پیستونی (پمپ‌های جابجایی مثبت):** در این پمپ‌ها، حلقه‌های آب‌بندی باید از نشست جلوگیری کنند و روانکاری مناسب برای کاهش اصطکاک ضروری است. سوپاپ‌های این سیستم‌ها نیز باید به‌طور منظم تعویض شوند.
- **گازهای مایع (مانند کلر یا دی‌اکسید گوگرد):** هنگام برداشت این گازها از ظروف، هدف از "بالشک‌گذاری هوا" (پمپاژ هوای خشک) برای حفظ فشار و جلوگیری از تشکیل خلاء را درک کنید.
- **کلر:** یک اکسیدکننده قوی که برای ضدعفونی، کنترل بو و کنترل بالکینگ لجن استفاده می‌شود.
- **نکته حیاتی:** انفجارهای شدید می‌توانند در اثر واکنش کلر با اسیدها رخ دهند. بنابراین، جداسازی کامل و عدم اختلاط این مواد ضروری است. دوز کلر به تقاضای کلر و میزان باقیمانده مورد نیاز بستگی دارد.
- **دی‌اکسید گوگرد (SO_2):** در فرآیند کلرزدایی استفاده می‌شود. سولفوناسیون‌ها مشابه کلریناتورها هستند اما برای کار با SO_2 طراحی شده‌اند. امکان نشست و مواجهه مستقیم با SO_2 نیز خطرناک است و باید پروتکل‌های واکنش اضطراری مشخصی برای آن وجود داشته باشد.
- **آهک:** گاهی اوقات برای تأمین قلیائیت کافی در فرآیند دوز آلوم اضافه می‌شود. آهک یک ماده سوزاننده متوسط است و استفاده از دستکش لاستیکی و محافظ چشم/صورت هنگام کار با آن الزامی است.
- **آزمایش جار (Jar testing):** این یک روش استاندارد و تجربی برای تعیین دوز بهینه مواد شیمیایی برای فرآیندهای مختلف تصفیه است. اجرای دقیق آن به بهینه‌سازی فرآیند و کاهش استفاده بی‌رویه از مواد شیمیایی کمک می‌کند.
- **فلوراید:** به بسیاری از سیستم‌های آب برای کاهش پوسیدگی دندان اضافه می‌شود، معمولاً به شکل سدیم فلوروسیلیکات.

- **عملیات و نگهداری تجهیزات: پیشگیری، کلید دوام**

- **پمپ کفکش شناور:** هرگز اجازه ندهید این پمپ خشک کار کند. کار کردن پمپ بدون مایع می‌تواند به موتور آن آسیب جدی وارد کند.
- **مجموعه‌های روتور (مثلاً در کانال‌های اکسیداسیون):** برای روتورهای جدید یا بازسازی شده، یک "استارت ضربه‌ای" (روشن/خاموش کردن مختصر برای ۲-۳ ثانیه) انجام دهید تا قبل از عملیات کامل، هرگونه تداخل مکانیکی یا مشکل را شناسایی کنید.

- **بلند کردن مواد :** همیشه از روش‌های صحیح بلند کردن استفاده کنید تا از آسیب‌های اسکلتی-عضلانی جلوگیری شود. در صورت نیاز، از تجهیزات مکانیکی کمکی استفاده کنید.
- **یاتاقان‌های شفت :** سفت بودن پیچ‌های درپوش یاتاقان شفت را طبق گشتاور توصیه شده توسط سازنده بررسی کنید. از پیرومتر یا دماسنج برای نظارت بر دمای یاتاقان‌ها استفاده کنید و اطمینان حاصل کنید که از ۲۰۰ درجه فارنهایت (۹۳ درجه سانتیگراد) تجاوز نمی‌کند. دمای بالا نشان‌دهنده اصطکاک بیش از حد و نیاز به سرویس است.
- **پمپ‌های گریز از مرکز :** این پمپ‌ها شامل یک پوسته (حلزونی)، یک کوپلینگ (متصل کننده شفت پمپ به شفت موتور)، یک آب‌بند مکانیکی و یک شفت فولادی صلب هستند. یک بوش شفت، شفت را در ناحیه آب‌بندی یا پکینگ محافظت می‌کند.
- **سیستم‌های کنترل پمپ :** این سیستم‌ها معمولاً یک متغیر (جریان، فشار یا سطح) را مدیریت می‌کنند. درک عملکرد آن‌ها برای واکنش سریع به ناهنجاری‌ها ضروری است.
- **چکش آبی (Water hammer) :** این پدیده، که صدایی شبیه ضربه زدن به لوله دارد، زمانی رخ می‌دهد که یک شیر خیلی سریع باز یا بسته شود. این می‌تواند منجر به آسیب جدی به لوله‌کشی و تجهیزات شود. آموزش اپراتورها در مورد بستن آرام شیرها ضروری است.
- **لوله‌کشی :** شامل بخش‌های لوله است که با اتصالات، شیرها و سایر دستگاه‌های مکانیکی به هم متصل می‌شوند. لوله‌های سفالی لعاب‌دار به دلیل مقاومت فوق‌العاده در برابر خوردگی، برای کاربردهای فاضلاب صنعتی و شهری ایده‌آل هستند. برای اتصال بخش‌های لوله‌کشی فاضلاب، باید از اتصالات "وای (Y)" و "تی (T)" استفاده شود تا از شکستگی لوله و نفوذ احتمالی جلوگیری شود. شلنگ‌ها از مواد تقویت‌کننده برای مقاومت در برابر فشار استفاده می‌کنند.
- **شیرها :** جریان سیال را از طریق سیستم‌های لوله‌کشی کنترل می‌کنند. آلودگی می‌تواند باعث گیر کردن شیرها، مسدود شدن سوراخ‌های کوچک و سایش سطوح نشیمنگاهی شود که منجر به نشت و عملکرد ناکارآمد می‌گردد. شیرهای پروانه‌ای فشرده هستند و می‌توانند جریان را در هر دو جهت کنترل کنند، که برای شستشوی معکوس سیستم‌های فیلتر مفید است. شیرهای یک‌طرفه در صورت معکوس شدن جریان به‌طور خودکار بسته می‌شوند.
- **صافی‌ها :** معمولاً در بالادست تله‌ها، شیرهای کنترل و ابزار دقیق برای گرفتن بیشتر آلاینده‌ها استفاده می‌شوند. نگهداری و تمیز کردن منظم آن‌ها برای جلوگیری از انسداد ضروری است.
- **برنامه‌های نگهداری پیشگیرانه :** برای تجهیزات پیچیده‌ای مانند بیوراکتورهای دوار بیولوژیکی (RBCs) و سایر ماشین‌آلات حیاتی، برنامه‌های نگهداری پیشگیرانه (PM) ضروری است. PM شامل بازرسی‌های منظم، روانکاری، تعویض قطعات فرسوده قبل از خرابی و ثبت دقیق سوابق است.

۲. شناسایی و پیش‌بینی خطرات: گام اول به سوی ایمنی فعال

شناسایی زود هنگام و پیش‌بینی خطرات بالقوه، سنگ بنای یک برنامه ایمنی فعال و کارآمد است. خطرات می‌توانند از منابع مختلفی در داخل تصفیه‌خانه فاضلاب ناشی شوند.

• اطلاع‌رسانی خطر: زبان ایمنی

- همیشه به برجسب‌ها و علائم "احتیاط (CAUTION)"، "خطر (DANGER)" و "هشدار (WARNING)" توجه ویژه داشته باشید. این علائم اطلاعات حیاتی را برای عملکرد ایمن تجهیزات و درک فرآیندها برجسته می‌کنند و نادیده گرفتن آن‌ها می‌تواند عواقب فاجعه‌باری داشته باشد.

• خطرات شیمیایی: مواد شیمیایی و اثرات آنها

- **ترکیبات بودار:** مانند سولفید هیدروژن (H_2S) از فاضلاب سپتیک، یک نگرانی ایمنی قابل توجه و منبع اصلی شکایات عمومی است H_2S . گازی بسیار سمی است که در غلظت‌های بالا می‌تواند به سرعت حس بویایی را مختل کرده و منجر به مرگ شود. این گاز را می‌توان با گاززدایی و افزودن کلر حذف کرد. سیستم‌های پایش H_2S در نقاط بحرانی ضروری است.
- **دی‌اکسید گوگرد (SO_2):** در فرآیند کلرزدایی استفاده می‌شود. خطراتی مربوط به مواجهه مستقیم (تحریک شدید سیستم تنفسی) و نشت‌های احتمالی (خفگی و آسیب‌های جدی) دارد. تأسیسات باید پروتکل‌های واکنش اضطراری و کمک‌های اولیه خاصی برای مواجهه با SO_2 داشته باشند، از جمله دوش‌های اضطراری و چشم‌شوی.
- **مواد سمی در پساب‌های صنعتی:** این مواد می‌توانند بر فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی تأثیر منفی بگذارند و به میکروارگانیسم‌های مفید آسیب برسانند. نمونه‌ها شامل انواع ترکیبات آلی (مانند تیواوره، پرکلرواتیلن، تری‌کلرواتیلن) و مواد معدنی (مانند روی، مس، جیوه، کروم، نیکل، نقره) هستند. این مواد می‌توانند برای نیتروژن‌سازها (باکتری‌های ضروری برای حذف نیتروژن) سمی باشند. برنامه‌های پیش‌تصفیه پساب صنعتی باید به دقت مدیریت شوند تا از ورود فاضلاب‌های سمی به تصفیه‌خانه و نقض مقررات تخلیه NPDES جلوگیری شود.
- **سیانید:** (سیانید آزاد، کمپلکس‌های سیانید ضعیف) یک ماده بالقوه سمی است که می‌تواند در برخی پساب‌های صنعتی وجود داشته باشد.
- **pH:** درک اهمیت pH حیاتی است، زیرا مقادیر بسیار بالا (بازی) یا بسیار پایین (اسیدی) می‌تواند هم برای اپراتورها خطرناک باشد و هم رشد میکروبی را مهار کند.
- **"شکست کلر: (Breakout of chlorine)"** به شرایطی اطلاق می‌شود که میزان کلر آزاد باقیمانده در پساب از حد مجاز فراتر رود و می‌تواند برای محیط زیست و سلامت عمومی مضر باشد.

• خطرات بیولوژیکی: میکروب‌ها و پیامدهای آنها

- **پاتوژن‌ها در بایوسلاید:** همچنان یک نگرانی برای سلامت عمومی هستند و مدیریت دقیق و رعایت مقررات برای کاهش خطر مواجهه ضروری است.
- **پاتوژن‌های هوابرد:** که می‌توانند از اسپری بیوسلاید مایع یا ذرات ریز بیوسلاید آب‌گیری شده تولید شوند، باید با تهویه مناسب و استفاده از ماسک‌های تنفسی کنترل شوند.
- **بیماری‌های خاص:** مانند ژیاودیاسیس و کریپتوسپوریديوم spp. می‌توانند از طریق تماس با آب آلوده منتقل شوند.
- **میکروارگانیسم‌های فاضلاب:** شامل باکتری‌ها (گیاهان تک‌سلولی حیاتی برای تثبیت پسماندهای آلی)، قارچ‌ها (موجودات هوازی چندسلولی)، روتیفرها (میکروارگانیسم‌های چندسلولی که نشان‌دهنده آب‌های تمیزتر و عملکرد تصفیه هستند) و سخت‌پوستان میکروسکوپی (هوازی‌های مطلق که از باکتری‌ها و جلبک‌ها تغذیه می‌کنند و غذای مهم ماهی هستند) می‌باشند. درک این اکوسیستم میکروبی برای تشخیص مشکلات فرآیندی مهم است.
- **شکوفایی جلبک‌ها:** در مخازن آب خام اغلب با سولفات مس کنترل می‌شود. در فاضلاب، جلبک‌های در حال رشد می‌توانند مواد مغذی را جذب کنند، اما رشد بیش از حد آن‌ها می‌تواند مشکل‌ساز باشد.
- **مشکلات عملیاتی نشان‌دهنده خطر:** مشکلاتی مانند مگس‌های فیلتر یا لجن شناور می‌توانند نشان‌دهنده اختلالات عملیاتی باشند که ممکن است منجر به مسائل بهداشتی یا زیست‌محیطی شوند. نگهداری علف‌های هرز کوتاه برای کنترل مگس‌های فیلتر ضروری است.

- **بالکینگ لجن :** به ویژه اگر ناشی از پسماندهای سمی باشد، می‌تواند به شدت بر عملکرد تصفیه‌خانه تأثیر بگذارد و به‌طور بالقوه منجر به انتشار ناخواسته مواد آلاینده شود. این مشکل معمولاً توسط باکتری‌های رشته‌ای یا آب متصل ایجاد می‌شود. دوزدهی فیلتر با کلر می‌تواند به کنترل بالکینگ کمک کند.

• **خطرات فیزیکی: محیط کار و پتانسیل آسیب**

- **سطوح لغزنده :** یک خطر رایج در تصفیه‌خانه‌ها هستند که می‌توانند منجر به سقوط و جراحات جدی شوند. تمیز نگه داشتن سطوح، نصب کفپوش‌های ضدلغزش و استفاده از کفش‌های ایمنی با چسبندگی مناسب حیاتی است.
- **تجهیزات با حرکت آهسته :** حتی تجهیزاتی که به کندی حرکت می‌کنند، مانند بازوهای چرخشی یا تسمه‌های نقاله، می‌توانند در صورت بی‌احتیاطی، منجر به گیر افتادن و جراحات شوند.
- **یخ‌زدگی در اقلیم‌های سرد :** یخ‌زدگی در کانال‌های اکسیداسیون یا حوضچه‌ها می‌تواند شرایط خطرناکی ایجاد کند. پوشش یخی حوضچه‌ها نیز یک عامل است که نیاز به اقدامات ایمنی خاصی دارد.
- **فشار و هد در سیستم‌های لوله‌کشی :** درک رابطه بین فشار و هد در سیستم‌های لوله‌کشی مهم است، زیرا فشار بیش از حد می‌تواند منجر به پارگی لوله‌ها و خطرات جدی شود. گیج‌های فشار برای نظارت بر این پارامتر استفاده می‌شوند.
- **نشت :** جلوگیری از نشت در لوله‌کشی و سیستم‌های تغذیه شیمیایی ضروری است. شیرهای نشتی را می‌توان از طریق تست تله یا با مشاهده جریان از طریق خطوط بای‌پس تشخیص داد و باید فوراً تعمیر شوند.
- **بازرسی واگن‌های تانکر کلر :** هنگام دریافت واگن‌های تانکر کلر، آن‌ها را برای هرگونه آسیب یا خوردگی که می‌تواند آن‌ها را برای تحویل نالایم کند، بررسی کنید.
- **"خطر جذاب (Attractive Nuisance)" در حوضچه‌ها :** حوضچه‌های تصفیه می‌توانند برای کودکان یا افراد ناآگاه جذاب باشند. این یک مشکل حقوقی بالقوه ایجاد می‌کند، زیرا احتمال سقوط و غرق شدن افراد، به‌ویژه کودکان، به دلیل شیب‌های تند وجود دارد. حصارکشی مناسب و نصب علائم هشدار دهنده الزامی است.

• **خطرات آلودگی متقابل: حفظ پاکیزگی آب**

- **سیفون معکوس (Backsiphonage) :** این پدیده زمانی رخ می‌دهد که فشار در سیستم توزیع آب به زیر فشار اتمسفر کاهش یابد و می‌تواند آلودگی را از طریق اتصالات متقاطع (cross-connections) به سیستم آب آشامیدنی وارد کند.
- **شکاف هوا (Air gap) :** یک شکاف عمودی باز بین منابع آب آشامیدنی و غیرآشامیدنی است که یک اقدام ایمنی مهم برای جلوگیری از آلودگی متقابل محسوب می‌شود.

• **نشانه‌های عملیاتی خطرات احتمالی: نشانه‌ها را بخوانید**

- **بو :** یک نشانگر اصلی مسائل فرآیندی است که می‌تواند خطرات یا مزاحمت ایجاد کند. بوهای غیرعادی می‌توانند نشان‌دهنده مشکلات شیمیایی، بیولوژیکی یا مکانیکی باشند. می‌توان از عوامل پوشاننده بو و سیستم‌های کنترل بوی آگزوز استفاده کرد.
- **لجن شناور :** می‌تواند نشان‌دهنده اختلالات عملیاتی در ته‌نشین‌کننده‌ها یا راکتورها باشد که نیاز به بررسی فوری دارد.
- **بالکینگ لجن :** همانطور که قبلاً ذکر شد، یک مشکل عملیاتی مهم است که می‌تواند عملکرد تصفیه‌خانه را مختل کند.

- **قطعی برق :** می‌تواند عملیات تصفیه‌خانه را مختل کند و در صورت عدم مدیریت صحیح، به‌طور بالقوه منجر به شرایط ناایمن (مانند سرریز فاضلاب تصفیه نشده) شود. برنامه‌های اضطراری و ژنراتورهای پشتیبان ضروری هستند.
- **مشکلات جمع‌آوری لجن یا خرابی کلکتور:** (مثلاً در تهنشین‌کننده‌ها) می‌توانند منجر به سرریز و سایر خطرات شوند.
- **اتصال کوتاه (Short-circuiting) در تهنشین‌کننده‌ها:** زمانی رخ می‌دهد که فاضلاب به‌طور یکنواخت پراکنده نشود، که منجر به زمان تهنشینی ناکافی و حمل ذرات در پساب می‌شود. این امر کارایی تصفیه را کاهش می‌دهد.
- **عمق لایه لجن :** یک پارامتر عملیاتی مهم است که معمولاً با استفاده از یک لوله پلاستیکی شفاف اندازه‌گیری می‌شود و برای کنترل فرآیند تهنشینی حیاتی است.
- **دمای آب :** می‌تواند بر کارایی تهنشینی تأثیر بگذارد؛ آب گرم (با چگالی کمتر) امکان تهنشینی آسان را فراهم می‌کند، در حالی که آب سرد (با چگالی بیشتر) تهنشینی را دشوار می‌کند.
- **کدورت :** یک پارامتر کیفیت آب است. فعالیت‌های انسانی نباید منجر به تضاد بصری قابل توجهی در یک منبع آب به دلیل کدورت شوند.
- **سیستم‌های SCADA کنترل نظارتی و اکتساب داده‌ها :** این سیستم‌ها نقش مهمی در کنترل از راه دور فرآیندهای حساس و تجهیزات سیستم در تاسیسات آب/فاضلاب ایفا می‌کنند. با این حال، آن‌ها در برابر تهدیدات سایبری مانند ابزارهای هک آسیب‌پذیر هستند. بنابراین، ابزارهای محافظت سایبری مانند برنامه‌های آنتی‌ویروس، فایروال‌ها و سخت‌افزار و نرم‌افزار نفوذ شبکه بسیار مهم هستند تا از امنیت عملیات حیاتی اطمینان حاصل شود.

فصل نهم

عیب‌یابی سیستماتیک در بهره‌برداری از تأسیسات تصفیه
فاضلاب

www.daneshemohit.ir

برای هر اپراتور تصفیه‌خانه فاضلاب، توانایی شناسایی دقیق، تجزیه و تحلیل ریشه‌ای، و رفع مؤثر مشکلات عملیاتی یک مهارت اساسی و حیاتی است. این فصل به شما کمک می‌کند تا با رویکردهای جامع عیب‌یابی و انواع مشکلات رایجی که ممکن است در هر مرحله از فرآیندهای تصفیه فاضلاب با آن‌ها روبرو شوید، آشنا شوید.

رویکرد کلی برای عیب‌یابی: شناسایی تا پیشگیری

هدف اصلی این فصل از راهنما، ارائه اطلاعاتی عملی است تا شما بتوانید به بهترین شکل مشکلات عملیاتی را تحلیل و حل کنید. در طول فعالیت‌های روزمره، یک اپراتور ماهر باید به طور مداوم سوابق تصفیه‌خانه را بررسی کند، شرایط فیزیکی را با دقت مشاهده کند، و نتایج آزمایشگاهی را به درستی تفسیر نماید تا کارایی و پایداری فرآیند تصفیه را حفظ کند.

تصور کنید زلال‌ساز (حوضچه ته‌نشینی) شما آنطور که باید کار نمی‌کند. در این حالت، اولین گام شناسایی دقیق منبع مشکل است و سپس باید اقدامات اصلاحی مناسب را به کار گرفت. تحلیل مشکل فراتر از حل یک مسئله فوری است؛ شامل تعیین علل اصلی نقص در عملکرد فرآیند، یافتن راحل‌های پایدار و مهم‌تر از همه، پیشگیری از تکرار مجدد آن مشکل است. هدف کوتاه‌مدت، رفع فوری مشکل موجود است، اما هدف بلندمدت، اطمینان از عدم بازگشت مشکل در آینده است.

عیب‌یابی مؤثر اغلب نیازمند شناخت شاخص‌های کلیدی مشکل از طریق مشاهدات دقیق است. وقتی مشکلی پدیدار می‌شود، اپراتورها باید تلاش کنند تا هم ماهیت مشکل و هم علت ریشه‌ای آن را درک کنند و سپس بهترین راحل ممکن را انتخاب نمایند. نکته مهم در فرآیندهای بیولوژیکی مانند لجن فعال این است که تغییرات ناشی از اقدامات اصلاحی ممکن است فوراً ظاهر نشوند. گاهی ممکن است چند روز، یک هفته یا حتی بیشتر طول بکشد تا نتایج اقدامات شما قابل مشاهده باشد. به همین دلیل، هنگام اعمال تغییرات در سیستم‌هایی مانند فیلترهای چکنده یا لجن فعال، توصیه می‌شود که هر بار فقط یک تغییر اعمال کنید و حدود ۲۴ ساعت یا حتی بیشتر صبر کنید تا نتایج آن تغییر را به دقت ارزیابی کنید، قبل از اینکه تنظیمات بعدی را انجام دهید. این روش به شما کمک می‌کند تا تأثیر هر تغییر را به وضوح بسنجید.

عیب‌یابی در بخش تصفیه مقدماتی: محافظت از سیستم

بخش تصفیه مقدماتی، که شامل آشغالگیری، خرد کردن و حذف شن و ماسه است، نقش حیاتی در محافظت از تجهیزات پایین‌دست و حذف موادی دارد که در غیر این صورت، ظرفیت تصفیه را بدون اینکه تصفیه شوند، اشغال می‌کنند. هرگونه نقص یا خرابی در تجهیزات این بخش، به طور حتم مشکلات زنجیره‌ای در سراسر تصفیه‌خانه ایجاد خواهد کرد.

آشغالگیری (Bar Screens)

آشغالگیرها، چه از نوع دستی و چه مکانیکی، اولین خط دفاعی هستند.

- **مشکلات آشغالگیرهای دستی:** این آشغالگیرها به توجه مداوم اپراتور نیاز دارند. عدم تمیز کردن منظم و به موقع می‌تواند عواقب متعددی داشته باشد:

- ورود فاضلاب گندیده و بدبو (سپتیک) به مرحله تصفیه اولیه.
- ایجاد جریان‌های ناگهانی و سرریز (surge flows) بلافاصله پس از تمیز کردن (به دلیل تجمع زیاد مواد).
- ایجاد جریان‌های بسیار کم (low flows) قبل از تمیز کردن (به دلیل گرفتگی شدید).
- اقدامات اصلاحی: افزایش دفعات تمیز کردن و شستشوی منظم کانال‌ها برای جلوگیری از تجمع مواد.

- مشکلات آشغالگیرهای مکانیکی : این نوع آشغالگیرها علاوه بر مشکلات عملیاتی مشابه با نوع دستی، مستعد مسائل مکانیکی نیز هستند، مانند :

- عمل نکردن سیستم تمیزکننده (cleaner not operating)
- عدم حرکت چنگک جمع‌آوری آشغال (rake not moving)
- اقدامات اصلاحی : رفع مشکلات مکانیکی فقط باید توسط اپراتورهای تعمیر و نگهداری مجاز و متخصص انجام شود.

- علل گرفتگی مکرر : وجود حجم زیاد زباله یا آشغال‌های بسیار ریز در فاضلاب می‌تواند باعث گرفتگی مکرر شود.

- بو و حشرات : اگر آشغالگیرهای دستی بوهای نامطبوع، مگس و حشرات زیادی دارند، نشان‌دهنده نیاز به دفع مکررتر آشغال‌ها است تا از فساد و ایجاد مزاحمت جلوگیری شود.

خرد کردن (Comminutors)

خردکن‌ها وظیفه خرد کردن ذرات بزرگ در فاضلاب را بر عهده دارند.

- مشکلات رایج :

- خروجی حاوی ذرات درشت : معمولاً نشان‌دهنده کند شدن یا نامتوازن بودن تیغه‌های خردکننده است.
- توقف یا گیر کردن مکرر دستگاه : نشانه‌ای از نامتوازن بودن تیغه‌ها، وجود حجم زیادی از زباله یا مواد اضافی در ورودی، یا کند شدن تیغه‌ها است.
- عدم کارکرد کامل دستگاه : می‌تواند به دلیل گرفتگی، گیر کردن مکانیکی، شکستن پین برشی یا کویلینگ، یا قطع کامل برق باشد
- نکته مهم : تعمیر و نگهداری تجهیزات خردکننده به دلیل ماهیت پیچیده و خطرناک آن‌ها، فقط باید توسط پرسنل تعمیر و نگهداری کاملاً واجد شرایط و آموزش‌دیده انجام شود.

حذف شن و ماسه (Grit Removal)

سیستم‌های حذف شن و ماسه از تجهیزات حیاتی برای محافظت از پمپ‌ها و تجهیزات پایین‌دست هستند.

- سیستم‌های کنترل‌شده با گرانش/سرعت : اپراتور باید به طور دقیق ویژگی‌های شن و ماسه (مثلاً اندازه و شکل)، وجود مواد آلی در شن و ماسه، یا خروج شن از سیستم (grit carryover) و هرگونه مشکل مکانیکی را مشاهده کند .

- سرعت جریان : برای حذف مؤثر شن و ماسه، سرعت جریان آب باید به دقت بین ۰/۷ تا ۱/۴ فوت بر ثانیه (fps) کنترل شود.

- علل مشکلات : سرعت جریان نامناسب (بیش از حد زیاد که شن را می‌برد، یا خیلی کم که باعث ته‌نشینی مواد آلی می‌شود)، تمیز کردن نامناسب یا طراحی اولیه ضعیف.

- سیستم‌های حذف شن و ماسه هوادهی شده : این سیستم‌ها نیز ممکن است مشکلات مکانیکی یا عملیاتی داشته باشند، از جمله :

○ **شستشوی کف (bottom scour) :** جریان هوای بیش از حد می‌تواند باعث شسته شدن شن و ته‌نشین شده شود.

○ **هوادهی بیش از حد (overaeration) :** می‌تواند منجر به شناور شدن ذرات شن و ماسه یا مشکلات دیگر شود.

○ **زمان ماند ناکافی :** منجر به بازیافت کم شن و ماسه و خروج آن از سیستم می‌شود.

- **بوهای نامطبوع :** بوی تخم‌مرغ گندیده در حوضچه شن و ماسه نشان‌دهنده تشکیل سولفید هیدروژن است که می‌تواند مشکلات جدی خوردگی در سازه‌های بتنی و فلزی ایجاد کند. اقدامات اصلاحی جامع : تنظیم دقیق سرعت جریان، افزایش دفعات تمیز کردن حوضچه، اصلاح مشکلات طراحی (در صورت لزوم)، تنظیم میزان هوادهی، یا افزایش زمان ماند برای بهبود کارایی سیستم.

عیب‌یابی در بخش تصفیه اولیه: جداسازی جامدات

تصفیه اولیه که شامل ته‌نشینی (sedimentation) یا شفاف‌سازی (clarification) است، به منظور حذف جامدات قابل ته‌نشینی و مواد شناور در شرایط نسبتاً آرام طراحی شده است. ارزیابی عملکرد این بخش با نمونه‌برداری و آزمایش‌های کنترل فرایند انجام می‌شود که شامل اندازه‌گیری جامدات قابل ته‌نشینی، اکسیژن محلول (DO)، pH، دما، کل جامدات معلق (TSS)، نیاز اکسیژنی بیوشیمیایی (BOD5)، جامدات لجن و مواد فرار است.

پارامترها و مشاهدات عملکرد عادی

- **حذف لجن :** باید به نرمی و بدون بالا آمدن توده‌های بزرگ لجن به سطح انجام شود. نرخ پمپاژ لجن باید به دقت کنترل شود تا از کونینگ (coning) (ایجاد مسیری مخروطی در لایه لجن) یا تجمع بیش از حد لجن جلوگیری شود.
- **عمق لایه لجن :** باید در سطوح مطلوب حفظ شود، نه خیلی کم و نه خیلی زیاد.
- **کارایی حذف :** واحد باید سطوح مورد انتظار از BOD5، TSS و جامدات قابل ته‌نشینی را حذف کند و آن‌ها را به مقادیر استاندارد و قابل قبولی که در فصل قبل ذکر شد برساند.
- **نگهداری تجهیزات :** تجهیزات مکانیکی باید طبق برنامه‌های منظم و پیشگیرانه نگهداری شوند.

رفع مشکلات

- **لجن شناور (Floating Sludge) :** این یکی از مشکلات رایج است.
- **علل:**
 - **تجزیه لجن در مخزن (تولید گاز) :** لجن برای مدت طولانی در مخزن مانده و شروع به بی‌هوایی شدن و تولید گاز می‌کند که باعث شناور شدن آن می‌شود.
 - **نقص در مکانیزم جمع‌آوری/پرده‌ها :** مکانیزم جمع‌آوری لجن یا پرده‌های آن از کار افتاده‌اند یا آسیب دیده‌اند.
 - **حذف ناکافی لجن :** لجن به اندازه کافی یا با سرعت مناسب از مخزن خارج نمی‌شود.

- **نیترات زدایی در زلال ساز :** باکتری ها نیترات موجود در فاضلاب را به گاز نیترژن تبدیل می کنند که باعث بالا آمدن جامدات ته نشین شده می شود.
- **هوادهی بیش از حد :** در برخی موارد، هوادهی بیش از حد در مراحل قبلی می تواند باعث شود ذرات به جای ته نشینی، شناور شوند.
- **بافل های ورودی آسیب دیده/غایب (در مخازن مستطیلی) :** این می تواند منجر به توزیع نامنظم جریان و ایجاد لایه های لجن ناهموار و حجیم شدن شود .
- **اقدامات اصلاحی :** حذف لجن با دفعات بیشتر یا با نرخ بالاتر، راه اندازی مجدد مکانیزم های جمع آوری، و نظارت دقیق بر عملکرد پمپ لجن برای مشکلات ناشی از نیترات زدایی یا هوادهی، می توان سن لجن یا نرخ برگشت لجن را تنظیم کرد یا هوادهی را کاهش داد.
- **فاضلاب سیاه و بدبو (گندیده/سپتیک) :** این وضعیت نشان دهنده مشکلات جدی در سیستم است .
- **علل:**
 - **فرسودگی تجهیزات جمع آوری لجن :** مکانیزم های جمع آوری به درستی کار نمی کنند.
 - **حذف نامنظم لجن :** لجن برای مدت طولانی در سیستم می ماند و گندیده می شود.
 - **پیش تصفیه صنعتی ناکافی :** ورود فاضلاب های صنعتی غلیظ و تجزیه نشده.
 - **فاضلاب گندیده از شبکه جمع آوری :** فاضلاب قبل از رسیدن به تصفیه خانه گندیده شده است.
 - **جریان های بازگشتی قوی :** جریان های برگشتی از مراحل دیگر تصفیه که حاوی مواد آلی غلیظ هستند.
 - **نقص پمپ لجن اولیه یا گرفتگی خط لجن کشی :** لجن به درستی خارج نمی شود.
 - **کلکتورها به اندازه کافی کار نمی کنند :** حرکت آهسته یا نامنظم سیستم جمع آوری لجن.
 - **ورود سپتاژ (فاضلاب تانک سپتیک) :** تخلیه نامنظم فاضلاب های تانک سپتیک . این شرایط می تواند به خوردگی شدید فلزات و بتن در تصفیه خانه منجر شود
 - **اقدامات اصلاحی :** تمرکز بر رفع عوامل سببی : بهبود نگهداری سیستم جمع آوری فاضلاب، افزایش دفعات حذف لجن، بهبود پیش تصفیه فاضلاب های صنعتی، یا رفع گرفتگی خطوط لجن.
- **غلظت جامدات لجن اولیه خیلی کم :**
- **علل :** بار هیدرولیکی بیش از حد (جریان ورودی زیاد)، پمپاژ بیش از حد لجن (خارج کردن لجن با درصد آب بالا)، مشکلات در سیستم جمع آوری فاضلاب، یا کاهش بار جامدات در فاضلاب ورودی.
- **غلظت جامدات لجن اولیه خیلی زیاد :**
- **علل :** حضور بیش از حد شن و ماسه و مواد فشرده، نقص عملکرد پمپ لجن اولیه، گرفتگی خط لجن کشی، زمان ماند جامدات (SRT) بیش از حد طولانی در مخزن، یا افزایش بارگذاری جامدات در فاضلاب ورودی.

• از دست دادن جامدات از روی سرریزهای پساب :

• علل:

- آسیب دیدن مکانیزم‌های جمع‌آوری لجن : باعث ته‌نشینی نامناسب می‌شود.
- ناهموار بودن سرریزها : منجر به جریان نامنظم و خروج جامدات می‌شود.
- جریان کوتاه به دلیل تغییرات دما : لایه‌های آب با دماهای مختلف باعث اختلال در ته‌نشینی می‌شوند.
- نرخ/دفعات نامناسب برداشت لجن : لجن به درستی یا به موقع خارج نمی‌شود.
- بار جامدات بیش از حد ناشی از ریزش زیاد (excessive sloughing) : در فرآیندهای بیولوژیکی قبلی.
- جریان‌های چرخشی (billowing solids) به دلیل جریان کوتاه یا وجود مقدار زیادی از ذرات کوچک به اندازه سوزن : لجن قدیمی‌تر و ریزتر به راحتی ته‌نشین نمی‌شود و ممکن است شناور بماند
- اقدامات اصلاحی : بازرسی و تعمیر تجهیزات آسیب‌دیده، تنظیم توزیع جریان در مخزن، بررسی دقیق بار هیدرولیکی، و تنظیم نرخ برداشت لجن.

عیب‌یابی در بخش لجن فعال: قلب تصفیه بیولوژیکی

فرآیند لجن فعال از میکروارگانیسم‌ها در یک مخزن هوادهی شده برای تجزیه و متابولیسم مواد آلی استفاده می‌کند، سپس این میکروارگانیسم‌ها در یک زلال‌ساز ثانویه ته‌نشین می‌شوند. برای عملکرد بهینه، تعادل دقیق و پیوسته‌ای بین سه عامل اصلی: غذا (مواد آلی)، موجودات زنده (لجن فعال) و اکسیژن (DO) باید حفظ شود.

مشکلات و علل رایج

اکثر مشکلات در سیستم لجن فعال ناشی از عدم تعادل در این سه عامل کلیدی است. بارگذاری بیش از حد یا کمتر از حد مواد آلی می‌تواند به سیستم شوک وارد کند. همچنین، ورود مواد سمی می‌تواند به میکروارگانیسم‌ها آسیب جدی وارد کرده یا آن‌ها را از بین ببرد.

- **حجیم شدن لجن (Bulking):** این مشکل با سرریز شدن لایه جامدات از روی سرریز پساب و قابلیت ته‌نشینی ضعیف لجن مشخص می‌شود.

• علل:

- بارگذاری آلی بیش از حد: (Organic Overloading) وقتی میزان غذای ورودی برای میکروارگانیسم‌ها بیش از حد زیاد باشد.
- pH پایین: محیط اسیدی می‌تواند رشد باکتری‌های مفید را مختل کند.

- رشد رشته‌ای (**Filamentous Growth**) : این شایع‌ترین علت حجیم شدن لجن است. باکتری‌های رشته‌ای به جای تشکیل لخته‌های متراکم، رشد می‌کنند و باعث می‌شوند لجن به خوبی ته‌نشین نشود.
- کمبود مواد مغذی (**Nutrient Deficiency**) : نبود نیتروژن، فسفر یا ریزمغذی‌های لازم برای رشد سالم میکروارگانیسم‌ها.
- سمیت (**Toxicity**) : ورود مواد شیمیایی یا صنعتی سمی که به میکروارگانیسم‌ها آسیب می‌رسانند.
- هوادهی بیش از حد (**Overaeration**) : می‌تواند باعث شکستن لخته‌های لجن و ته‌نشینی ضعیف شود.
- کف کردن (**Foaming/Frothing**)
 - کف ضخیم و چرب روی مخزن هوادهی : نشان‌دهنده لجن فعال بسیار قدیمی (high sludge age) و وجود بیش از حد چربی و روغن در سیستم است.
 - کف سفید و شکننده : معمولاً نشان می‌دهد که نرخ هدر رفت لجن (waste rate) بیش از حد بالا است و لجن جوان است.
 - کف‌پوش (**Frothing**) : ناشی از طولانی بودن بیش از حد زمان ماند جامدات (SRT) است که منجر به رشد میکروارگانیسم‌های تولیدکننده کف می‌شود.
- ته‌نشینی ضعیف (**Poor Settling**) :
 - از دست دادن جامدات از روی سرریز پساب : به معنای خروج ذرات لجن با پساب تصفیه شده است.
 - جامدات ته‌نشین می‌شوند و سپس بالا می‌آیند : این پدیده می‌تواند ناشی از نیترات‌زدایی (denitrification) در زلال‌ساز ثانویه (تولید گاز نیتروژن) یا هوادهی بیش از حد باشد.
 - ذرات کوچک لجن (**small pinhead solids**) : وجود مقادیر زیاد از این ذرات اغلب نشان‌دهنده لجن قدیمی و بیش از حد تثبیت‌شده است.
- اکسیژن محلول (**DO**) کم : این یک مشکل جدی است که بر عملکرد بیولوژیکی تأثیر می‌گذارد.
- علل : بارگذاری بیش از حد مواد آلی، نرخ جریان هوای کم، یا نرخ بالای لجن فعال برگشتی
- پیامدها : منجر به گندیدگی مخازن هوادهی، عملکرد تصفیه ضعیف و از دست رفتن قابلیت نیترات‌سازی (تبدیل آمونیاک به نیترات) می‌شود.
- عدم تعادل مواد مغذی : میکروارگانیسم‌ها برای رشد و فعالیت سالم خود به مواد مغذی ضروری مانند نیتروژن، فسفر، آهن و فلزات کمیاب نیاز دارند. اگر این مواد مغذی به میزان کافی در دسترس نباشند، فرایند تصفیه طبق انتظار عمل نخواهد کرد. کمبود مواد مغذی می‌تواند حتی باعث حجیم شدن لجن شود.

• سایر علائم و نشانه‌ها:

- رنگ قرمز در مخزن هوادهی: معمولاً نشان‌دهنده نشت یا ورود کلرید فریک (که در برخی فرآیندها برای حذف فسفر استفاده می‌شود) است.
- رنگ سیاه مخلوط مایع (MLSS): نشان‌دهنده جریان هوای بسیار کم و شرایط بی‌هوازی در مخزن هوادهی است.
- بوی تخم‌مرغ گندیده در لجن فعال برگشتی: نشان می‌دهد که لجن برگشتی گندیده (سپتیک) شده است یا نرخ برگشت آن بسیار کم است.
- مرگ و میر ناگهانی و گسترده ارگانیسم‌ها در مدت زمان کوتاه: این یک علامت هشداردهنده جدی است که نشان‌دهنده ورود مواد سمی به فاضلاب ورودی است.

اقدامات اصلاحی

• برای حجیم شدن لجن (Bulking):

- کاهش بارگذاری آلی: با کاهش جریان ورودی یا افزایش حجم مخزن.
- افزودن قلیائیت: برای رفع pH پایین (مثلاً با اضافه کردن بیکربنات سدیم).
- افزودن مواد مغذی: در صورت کمبود.
- افزودن کلر یا پراکسید به لجن برگشتی: برای کنترل رشد باکتری‌های رشته‌ای.
- شناسایی و اجرای پیش‌تصفیه: برای حذف مواد سمی از فاضلاب صنعتی.
- کاهش هوادهی: در صورت هوادهی بیش از حد.

• برای کف کردن (Foaming):

- کاهش سن لجن: با افزایش نرخ دفع لجن.
- افزایش دفع لجن: برای حذف لجن قدیمی.
- استفاده از اسپری‌های کنترل کف: برای شکستن کف.
- بهبود حذف چربی و روغن: در مرحله پیش‌تصفیه.

• برای ته‌نشینی ضعیف

- اگر جامدات ته‌نشین می‌شوند و سپس بالا می‌آیند (denitrification): نرخ برگشت لجن را افزایش دهید، سن لجن را تنظیم کنید، یا هوادهی را کاهش دهید.
- برای ذرات کوچک لجن (pinhead solids): سن لجن را کاهش دهید/نرخ دفع لجن را افزایش دهید تا لجن جوان‌تر شود.

• برای DO کم:

- کاهش بارگذاری آلی: در صورت امکان.

- افزایش جریان هوا : به مخازن هوادهی.
- کاهش نرخ لجن فعال بازگشتی : در صورت بالا بودن غیرضروری.
- برای ورودی سمی که باعث مرگ و میر ارگانیسم‌ها شده است:
 - فرآیند را ایزوله کنید : جریان ورودی به واحد آسیب‌دیده را قطع یا محدود کنید.
 - جامدات را برگردانید : تا حد امکان لجن را در سیستم حفظ کنید.
 - دفع لجن را متوقف کنید : تا از دست دادن بیشتر میکروارگانیسم‌ها جلوگیری شود.
 - نرخ برگشت لجن را افزایش دهید : برای رقیق کردن مواد سمی و حفظ جمعیت میکروبی.
 - برنامه پیش‌تصفیه را اجرا یا تقویت کنید : برای جلوگیری از ورود مجدد مواد سمی.

عیب‌یابی در بخش فیلترهای چکنده: تصفیه با لایه بیولوژیکی ثابت

فیلترهای چکنده، دستگاه‌های تصفیه بیولوژیکی با لایه بیولوژیکی ثابت (fixed film) هستند که در آن‌ها فاضلاب به صورت قطرات روی محیطی که با یک لایه بیولوژیکی (اسلایم) پوشیده شده است، جریان می‌یابد. این اسلایم مواد آلی را جذب می‌کند و هوا از طریق محیط به گردش در می‌آید تا اکسیژن لازم برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها را فراهم کند.

مشکلات رایج و راه‌حل‌ها

- تجمع آب (Ponding) : این مشکل به معنای جمع شدن آب روی سطح محیط فیلتر است .
- علل:
 - بار هیدرولیکی ناکافی : فاضلاب به اندازه کافی پخش نمی‌شود.
 - اعمال فاضلاب با غلظت بالا بدون گردش مجدد کافی : مواد آلی بیش از حد باعث رشد سریع اسلایم و گرفتگی می‌شوند.
 - محیط فیلتر نامنظم یا خیلی کوچک : مانع از جریان آزاد آب می‌شود.
 - تخریب محیط فیلتر : باعث فرورفتگی و تجمع آب می‌شود.
 - انسداد فضاهای خالی توسط زیاله یا ارگانیسم‌ها : رشد بیش از حد لایه بیولوژیکی (biofilm) یا تجمع مواد خارجی .
 - پیامدها : کاهش کارایی حذف BOD/TSS و احتمالاً تولید بوهای نامطبوع .
 - اقدامات اصلاحی : حذف زیاله‌ها و مواد خارجی، افزایش نرخ گردش مجدد برای شستشوی محیط، استفاده از جریان آب پرفشار برای شستشوی شدید، شخم‌زنی یا چنگک زدن نواحی مشکل‌دار برای شکستن گرفتگی‌ها، یا دوز کردن با محلول کلر برای کنترل رشد بیولوژیکی بیش از حد. همچنین، غرقاب کردن فیلتر (flooding the filter) به صورت دوره‌ای یا خاموش کردن آن برای چند ساعت برای خشک شدن نیز می‌تواند کمک‌کننده باشد.

- **مگس‌های فیلتر (Filter Flies):** این مگس‌های کوچک می‌توانند در محیط فیلتر تولید مثل کنند و باعث آزار و اذیت در اطراف تصفیه‌خانه شوند.
- **روش‌های کنترل:**
 - غرقاب کردن دوره‌ای فیلتر: با آب برای غرق کردن لاروها.
 - دوز کردن با حشره‌کش‌های تأیید شده: تحت نظارت متخصص.
 - افزایش گردش مجدد: می‌تواند به کاهش جمعیت مگس‌ها کمک کند.
- **بوها:** بوهای نامطبوع، به ویژه بوی سولفید هیدروژن (بوی تخم‌مرغ گندیده).
- **علل:** تهویه ضعیف در فیلتر، ورود فاضلاب گندیده (سپتیک) به فیلتر، یا گردش مجدد ناکافی که منجر به شرایط بی‌هوای می‌شود.
- **اقدامات اصلاحی:** حفظ شرایط هوای در مراحل بالادست، بهبود تهویه در خود فیلتر، یا افزایش نرخ گردش مجدد برای بهبود اکسیژن‌رسانی و کاهش زمان ماند فاضلاب.
- **ریزشی (Sloughing):** این فرآیند طبیعی است که در آن رشد بیولوژیکی اضافی از محیط جدا شده و از طریق فیلتر شسته می‌شود. مشکل ریزش بیش از حد می‌تواند باعث افزایش جامدات معلق در پساب خروجی شود. عوامل تأثیرگذار: بار هیدرولیکی و آلی، دما، و نرخ گردش مجدد.
- **راه حل‌ها:** گردش مجدد برای بهبود ریزش و حفظ کیفیت پساب استفاده می‌شود. تنظیم نرخ گردش مجدد با الگوهای جریان می‌تواند به کاهش بار جامدات وارده بر زلال‌ساز ثانویه که ناشی از ریزش است، کمک کند.
- **کیفیت پساب ضعیف (High BOD/TSS):** این مشکل به معنای عدم حذف کافی مواد آلی (BOD) و جامدات معلق (TSS) است.
- **علل:** بارگذاری هیدرولیکی یا آلی بیش از حد، تصفیه اولیه ضعیف، یا تهویه نامناسب در فیلتر.
- **اقدامات اصلاحی:** ارزیابی و بهبود تصفیه اولیه، تنظیم بار هیدرولیکی/آلی بر فیلتر (مثلاً با کاهش جریان ورودی یا افزایش گردش مجدد)، و بهبود تهویه فیلتر.

عیب‌یابی در بخش تماس‌دهنده‌های بیولوژیکی چرخان (RBCs) تصفیه با دیسک‌های دوار

RBCs سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی با لایه ثابت هستند که در آن‌ها دیسک‌های چرخان به طور جزئی در فاضلاب غوطه‌ور می‌شوند. یک لایه بیولوژیکی (اسلایم) روی سطح این دیسک‌ها رشد می‌کند و با چرخش دیسک‌ها، به طور متناوب در معرض فاضلاب برای جذب مواد آلی و سپس در معرض هوا برای دریافت اکسیژن قرار می‌گیرد.

مشکلات رایج و اقدامات اصلاحی

- **مشکلات پوشش مدیاها: (Media Coverage Issues)**
 - **ظاهر ایده‌آل لایه بیولوژیکی:** باید دارای رنگ قهوه‌ای تا خاکستری، ظاهری پرزدار، پوشش یکنواخت روی دیسک‌ها، و لکه‌های خالی بسیار کم یا بدون لکه باشد.

- **لایه سفید روی بیشتر سطح دیسک :** این یک علامت هشداردهنده است که نشان‌دهنده وجود سولفید هیدروژن زیاد یا ورودی گندیده (سپتیک) است. همچنین می‌تواند نشان‌دهنده بارگذاری بیش از حد آلی در مرحله اول باشد.

- **ریزشی بیش از حد (Excessive Sloughing) یا از دست دادن لایه بیولوژیکی :** می‌تواند ناشی از تغییرات شدید pH یا ورود مواد سمی به فاضلاب ورودی باشد.

- **بوها :** بوی نامطبوع، به ویژه بوی سولفید هیدروژن، نشان‌دهنده ورودی گندیده یا غلظت بالای H_2S در سیستم است.

- **مشکلات مکانیکی :** اپراتور باید به طور منظم حرکت دیسک‌های RBC را مشاهده کند و به دنبال هرگونه علامت غیرعادی مانند لرزش، صدای بیش از حد، یا گرم شدن بیش از حد قطعات باشد. راهنماهای عیب‌یابی به جزئیات مسائلی مانند:

- کاهش کارایی تصفیه به دلیل مشکلات مکانیکی.

- مسائل مربوط به درایو زنجیر چرخ : لرزش، صدا، سایش غیرعادی.

- مشکلات درایو تسمه‌ای.

- مسائل مربوط به پلبرینگ‌ها یا موتورها.

اقدامات اصلاحی

- برای لایه سفید/بوها:

- هوادهی فاضلاب ورودی یا مخزن RBC: برای افزایش اکسیژن و جلوگیری از گندیدگی.

- افزودن مواد شیمیایی مانند نیتрат سدیم یا پراکسید هیدروژن : برای کنترل شرایط بی‌هوازی و کاهش H_2S .

- تنظیم پافل‌ها (در صورت وجود) : برای افزایش سطح تماس در مرحله اول و بهبود توزیع جریان.

- پیش‌کلرزنی : می‌تواند به کنترل باکتری‌های دوستدار گوگرد که باعث تولید H_2S می‌شوند، کمک کند.

- برای ریزشی بیش از حد ناشی از ورودی سمی:

- اجرا یا تقویت برنامه پیش‌تصفیه : برای جلوگیری از ورود مواد شیمیایی مضر از صنایع.

- نصب تجهیزات کنترل pH یا متعادل‌سازی : برای تثبیت pH فاضلاب ورودی.

- برای مشکلات مکانیکی:

- این مشکلات نیازمند اقدامات تعمیر و نگهداری تخصصی هستند، مانند :

- بازرسی و تعمیر زنجیرها و تسمه‌ها.

- تنظیم کشش زنجیرها و تسمه‌ها.

- روغن کاری منظم قطعات متحرک.
- بررسی و تعویض بلبرینگ ها یا موتورهای آسیب دیده.

عیب یابی در بخش حوضچه های تصفیه فاضلاب (لاگون ها): تصفیه طبیعی

حوضچه های تصفیه فاضلاب یا لagoon ها، سیستم هایی هستند که از فرایندهای طبیعی برای تصفیه فاضلاب استفاده می کنند. این فرایندها شامل ته نشینی، تجزیه بیولوژیکی توسط باکتری ها (هم هوازی و هم بی هوازی)، و فتوسنتز توسط جلبک ها است.

مشکلات رایج و راه حل ها

- **شکوفایی جلبکی (Algae Blooms):** رشد بیش از حد جلبک یک مشکل رایج است.
- **علل:** فراوانی بیش از حد مواد مغذی مانند نیترات و فسفر در فاضلاب.
 - اگر این جلبک ها یک لایه متراکم روی سطح تشکیل دهند (فرش جلبکی)، می توانند نفوذ نور خورشید را کاهش دهند و بر سطح اکسیژن محلول (DO) تأثیر منفی بگذارند.
 - زمان ماند بیش از حد طولانی یا عمق کم در حوضچه های پولیش (نهایی) نیز می تواند منجر به رشد بیش از حد جلبک و در نتیجه افزایش جامدات معلق در پساب خروجی شود.
 - روش های حذف جلبک از پساب: میکرواسکرینینگ، فیلتراسیون با شن آهسته، شناورسازی با هوای محلول (DAF)، و برداشت جلبک. تنظیم دوز سولفات مس نیز می تواند برای کنترل رشد جلبک ها استفاده شود، اما باید با احتیاط و طبق مقررات انجام شود.
- **بوها:** بوهای نامطبوع، به ویژه بوی سولفید هیدروژن (H_2S)، یک مشکل رایج در حوضچه ها است.
- **علل:** این بوها از گازهای حاصل از تجزیه مواد آلی تولید می شوند، به خصوص در شرایط بی هوازی یا گندیده، یا از فاضلاب های صنعتی خاص. بوها معمولاً تا زمانی که همسایگان شکایت نکنند، به عنوان یک مشکل جدی تلقی نمی شوند. علل شایع: بارگذاری بیش از حد آلی یا نگهداری نامناسب (به عنوان مثال، تجمع لجن). در حوضچه های بی هوازی، بار آلی بالا به طور خاص H_2S زیادی تولید می کند.
- **راه حل ها:** گردش مجدد آب از یک حوضچه پایین دست به حوضچه بوگرفته یا استفاده از پوشش روی حوضچه های بی هوازی می تواند بوها را کاهش دهد. همچنین، منحرف کردن فاضلاب ورودی به حوضچه های دیگر، پیش هوادهی فاضلاب، افزودن نیترات سدیم یا پراکسید هیدروژن، یا استفاده از مواد شیمیایی کنترل بو می تواند کمک کننده باشد.
- **جریان کوتاه (Short-circuiting):** این پدیده زمانی رخ می دهد که فاضلاب از مسیرهای عادی در حوضچه منحرف می شود و به سرعت از سیستم عبور می کند. پیامد: می تواند منجر به کارایی بسیار ضعیف تصفیه شود، زیرا فاضلاب زمان کافی برای تصفیه در حوضچه را ندارد.
- **سیل بندها (Dikes):** دیوارها یا خاکریزهای حوضچه نیاز به نگهداری منظم دارند.

- **مسائل نگهداری :** کنترل علف‌های هرز، جلوگیری از فرسایش دیواره، و نگهداری نرده‌ها. حیوانات حفار مانند موش آبی یا لاکپشت نیز می‌توانند با ایجاد تونل به دیواره‌ها آسیب بزنند.
- **راه حل‌ها :** پوشش گیاهی مناسب (مانند چمن) و استفاده از سنگ‌ریزه (riprap) می‌تواند به جلوگیری از فرسایش کمک کند.
- **سایر مشکلات:**

- تشکیل لایه‌های لجن شناور. (Floating Sludge Mats)
- ورود فاضلاب با BOD بالا که می‌تواند حوضچه‌ها را بیش از حد بارگذاری کند.
- ورود مواد سمی به فاضلاب که می‌تواند بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها تأثیر بگذارد.
- دماهای پایین که به طور قابل توجهی فعالیت بیولوژیکی را کاهش می‌دهند. راهنماهای عیب‌یابی جامع‌تر، مشکلاتی مانند کیفیت پایین پساب خروجی، بوها، و تجمع جامدات را فهرست می‌کنند و علل احتمالی و راه‌حلهایی مانند تنظیم هوادهی، گردش مجدد، بار آلی ورودی، یا حذف فیزیکی زباله‌ها را ارائه می‌دهند.

عیب‌یابی در بخش مدیریت لجن: تثبیت و دفع بایوسالیدها

لجن یا بایوسالیدها، محصول جانبی فرایندهای تصفیه اولیه، ثانویه و شیمیایی فاضلاب هستند. لجن تصفیه نشده باید قبل از دفع، پایدار (هضم) شود تا خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی آن کاهش یابد. فرایندهای رایج در مدیریت لجن شامل غلظت‌دهی لجن، هضم (بی‌هوازی یا هوازی)، آبگیری، سوزاندن و کاربرد در زمین است. هرگونه نقص یا ناکافی بودن در سیستم تصفیه لجن می‌تواند عملکرد کلی تصفیه‌خانه را به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

اختلالات هاضم (Digester Upsets)

هاضم‌ها (چه هوازی و چه بی‌هوازی) برای تثبیت لجن به کار می‌روند.

- **هضم هوازی:**
 - مشکل عملیاتی رایج کنترل pH : افت pH می‌تواند نشان‌دهنده فعالیت بیولوژیکی طبیعی (که باعث تولید اسید می‌شود) یا کمبود قلیائیت در فاضلاب ورودی باشد.
 - راه حل : با افزودن قلیائیت (مانند آهک یا بیکربنات سدیم) به سیستم، pH را تنظیم کنید.
- **هضم بی‌هوازی :** این هاضم‌ها به دلیل حساسیت بالا به شرایط عملیاتی، مستعد اختلال هستند.
- **علائم مشکلات:**
 - کاهش چشمگیر در تولید گاز (متان).
 - افت pH به زیر ۶/۸.
 - افزایش نسبت اسیدهای چرب فرار به قلیائیت. (VFA/Alkalinity Ratio) این نسبت یک شاخص کلیدی پایداری هاضم است.

علل:

- اسیدی شدن هاضم (Digester Souring) : عدم تعادل در فرآیند بیولوژیکی منجر به تجمع اسیدها می‌شود.
 - بارگذاری بیش از حد آلی/هیدرولیکی : ورود بیش از حد مواد آلی یا جریان مایع زیاد به هاضم.
 - اختلاط ناکافی : عدم توزیع یکنواخت مواد و دما در هاضم.
 - قلیانیت کم : ظرفیت بافری کافی برای خنثی کردن اسیدهای تولید شده وجود ندارد.
 - سمیت : ورود مواد شیمیایی سمی که به باکتری‌های تولیدکننده متان آسیب می‌رسانند.
 - از دست دادن ظرفیت هضم : کاهش حجم فعال هاضم به دلیل تجمع جامدات بی‌اثر
 - سطوح عملیاتی نرمال برای نسبت اسیدهای فرار/قلیانیت:
 - نشان‌دهنده عملکرد عالی : (بهینه) $0.1 \leq$
 - عملکرد مناسب : (قابل قبول) $0.3 - 0.1$
 - نشان‌دهنده افزایش دی‌اکسید کربن و احتمالاً شروع کاهش pH : $0.5 \geq$
 - $0.8 \geq$: نشان‌دهنده افت شدید pH و اختلال جدی در هاضم .
- اقدامات اصلاحی : بستگی به علت دارد، مانند تنظیم نرخ تغذیه، افزایش شدت اختلاط، افزودن قلیانیت، یا شناسایی و حذف منابع ورودی سمی .
- کف کردن (Foaming) :** می‌تواند در هاضم‌های بی‌هوازی نیز رخ دهد که معمولاً به دلیل بارگذاری بیش از حد آلی، وجود مواد سمی، یا مشکلات اختلاط است.
- مشکلات آبگیری (Dewatering Issues)**
- فرآیندهایی مانند فیلتراسیون وکیوم دوار و فیلتراسیون تحت فشار (مانند پرس فیلتر تسمه‌ای و پرس پلیت) برای حذف آب از لجن (کاهش حجم لجن و افزایش غلظت جامدات) استفاده می‌شوند.
- **فیلتراسیون وکیوم دوار (Rotary Vacuum Filtration)**
 - **مشکلات عملیاتی :** کاهش جمع‌آوری لجن (sludge pickup) ، کیک فیلتر نازک/ناهموار/ترک‌خورده، فیلتریت کدر (filtrate) ، یا از دست دادن وکیوم (سیستم خلأ (وکیوم) دیگر نتواند فشار منفی لازم را ایجاد یا حفظ کند).
 - **علل :** تهویه شیمیایی نامناسب، انتخاب نامناسب پلیمر یا دوز غلط، جامدات لجن کم باشد (لجن خیلی رقیق)، سطح پایین مایع در حوضچه، مسائل مکانیکی، یا سرعت نامناسب درام.
 - **مشکلات فیلتراسیون تحت فشار (پرس پلیت/پرس فیلتر تسمه‌ای):**
 - **عدم آب‌بندی صفحات (در پرس پلیت) :** منجر به نشت لجن می‌شود.
 - **دشواری در تخلیه کیک :** کیک به راحتی از پارچه فیلتر جدا نمی‌شود.

- **کیک مرطوب :** آبیگری کافی انجام نشده است.
- **خروج لجن - (sludge blowing out) در پرس پلیت :** فشار بیش از حد باعث خروج لجن از بین صفحات می‌شود.
- **نشت لجن از لبه‌های تسمه (در پرس فیلتر تسمه‌ای) :** معمولاً به دلیل تنظیمات نادرست تسمه.
- **عوامل سببی :** تراز نامناسب تجهیزات، تهویه ناکافی لجن، نوع یا دوز نامناسب ماده شیمیایی کمک‌کننده، زمان چرخه نادرست، انسدادها، کشش/سرعت بیش از حد تسمه، یا نرخ تغذیه لجن بیش از حد
- **اقدامات اصلاحی :** تراز مجدد قطعات، تنظیم دوز/نوع/نقطه تزریق ماده شیمیایی کمک‌کننده، تنظیم زمان چرخه، رفع انسدادها، یا تنظیم کشش/سرعت تسمه.

مشکلات بسترهای خشک‌کن (Drying Bed Problems)

بسترهای خشک‌کن لجن زیستی برای خشک کردن لجن هضم‌شده (بایوسالیدها) با استفاده از تبخیر طبیعی و زهکشی استفاده می‌شوند.

مشکلات عملیاتی:

- **زمان خشک‌شدن طولانی :** لجن به سرعت خشک نمی‌شود.
- **تولید مثل مگس‌ها در لجن :** به دلیل رطوبت و مواد آلی.
- **بوهای نامطبوع :** به خصوص پس از اعمال لجن روی بستر.
- **عوامل سببی :** لجن هضم‌شده ناکافی، تولید مثل طبیعی حشرات، یا باران بیش از حد
- **اقدامات اصلاحی :** شکستن پوسته لجن برای افزایش تبخیر، استفاده از لاروکش/حشره‌کش، حذف سریع لجن خشک‌شده، افزودن آهک برای کنترل بو/حشرات/جوندگان، یا شناسایی و اصلاح مشکل اصلی در هاضم.

عیب یابی در بخش گندزدایی و کلرزدایی: تضمین کیفیت پساب

گندزدایی، که اغلب با استفاده از کلر انجام می‌شود، آخرین مرحله برای کشتن ارگانیسم‌های بیماری‌زا در فاضلاب قبل از تخلیه آن به محیط طبیعی است. پس از گندزدایی، کلرزدایی (dechlorination) ممکن است ضروری باشد تا کلر باقیمانده که برای حیات آبزیان سمی است، حذف شود.

عیب‌یابی کلرزنی (Chlorination Troubleshooting)

- **شمارش کلیفرم با استانداردها مطابقت ندارد :** نشان‌دهنده گندزدایی ناقص است.
- **علل:**
- **ظرفیت ناکافی تجهیزات کلرزنی :** دستگاه نمی‌تواند دوز کلر لازم را تأمین کند.

- کنترل ناکافی کلر باقیمانده : دوز کلر به درستی تنظیم نمی‌شود.
- اختلاط ناکافی : کلر به طور یکنواخت با فاضلاب مخلوط نمی‌شود.
- کیفیت ضعیف پساب ورودی (ورودی به گندزدایی) : وجود BOD/SS بالا می‌تواند با کلر واکنش داده و اثربخشی آن را کاهش دهد.
- زمان تماس ناکافی : فاضلاب به اندازه کافی در مخزن تماس کلر نمی‌ماند.
- جریان کوتاه (short-circuiting) در مخزن تماس : فاضلاب از مسیر کوتاهی عبور کرده و زمان تماس کافی ندارد.
- نقطه کاربرد نادرست کلر : کلر در جای نامناسبی تزریق می‌شود.
- تجمع لایه لجن (slime buildup) در مخزن تماس : این لایه‌ها می‌توانند حاوی باکتری باشند و کلر را مصرف کنند.
- نیتریفیکاسیون/کلرزدایی (دنیتریفیکاسیون) : این فرایندها می‌توانند بر اثربخشی کلرزنی تأثیر بگذارند.

• مشکلات تغذیه‌کننده شیمیایی: (Chemical Feeder Problems)

- فشار گاز کلر کم/بدون کلر در کلرزن : نشان‌دهنده سیلندرهای ناکافی، ظروف خالی، شیرهای بسته، یا نشتی در سیستم است.
- عدم تزریق کلر توسط کلرزن : می‌تواند به دلیل شیرهای بسته، خطوط/انژکتورهای مسدود شده، مشکلات وکیوم (در کلرزن‌های وکیوم) یا عدم تامین آب لازم برای انژکتور باشد.

• مسائل مربوط به کلر باقیمانده:

- دشواری در حفظ غلظت کلر آزاد : به خصوص در انتهای سیستم توزیع، که به خوبی مستند شده است.
- حفظ سطح پایین (۰/۳-۰/۱ میلی‌گرم در لیتر) از ماده گندزدای ثانویه معمول است، اما زمان‌های تماس طولانی حتی با دوزهای پایین نیز می‌توانند محصولات جانبی گندزدایی (DBPs) قابل توجهی تولید کنند که برای سلامت محیط زیست مضر هستند.
- عملیات روتین : تنظیم دوز کلر بر اساس جریان و آزمایش منظم پساب برای کلر باقیمانده از عملیات حیاتی هستند.
- نقص تجهیزات : مسائلی مانند نشتی در سیستم کلر (که بسیار خطرناک است)، کار نکردن تبخیرکننده‌ها (در صورت استفاده از کلر مایع)، یا مشکلات خاص در کلرزن (ناتوانی در حفظ وکیوم (افت خلا)، نشتی، مسائل مربوط به فشار (ناپایداری فشار)) نیاز به عیب‌یابی فوری و تخصصی دارند.

عیب‌یابی کلرزدایی (Dechlorination Troubleshooting - Sulfonators)

کلرزدایی اغلب با استفاده از دی‌اکسید گوگرد (SO_2) در دستگاه‌های سولفوناتور انجام می‌شود.

• مسائل مربوط به کلر باقیمانده در پساب خروجی

علل:

- ظرف خالی دی اکسید گوگرد.
- شیرهای بسته.
- ظرفیت ناکافی سولفوناتور برای خنثی کردن کلر موجود.
- نقص عملکرد سولفوناتور.
- اختلاط ناکافی دی اکسید گوگرد با پساب.
- جریان کوتاه (short-circuiting) در مخزن تماس کلرزدایی.
- نقطه کاربرد نادرست دی اکسید گوگرد.

• مشکلات تغذیه‌کننده شیمیایی (سولفوناتور):

- قرانت وکیوم انژکتور سولفوناتور پایین: می‌تواند به دلیل فشار/جریان آب کم (آب مورد نیاز برای کارکرد انژکتور)، نازل‌ها/صافی‌های مسدود شده، نقص عملکرد پمپ گردش مجدد (در صورت وجود)، یا خط تخلیه مسدود شده باشد.
- نشستی دی اکسید گوگرد: این یک خطر جدی است. در صورت استنشام بوی دی اکسید گوگرد، اپراتورها باید فوراً منطقه را ترک کنند، به سرپرستان اطلاع دهند و از تجهیزات اضطراری (مانند ماسک تنفسی) استفاده کنند.

با مشاهده سیستماتیک و دقیق شرایط تصفیه‌خانه، انجام آزمایش‌های لازم و به موقع، و درک عمیق از علل احتمالی و اقدامات اصلاحی مرتبط با هر یک از فرآیندهای واحد، اپراتورها می‌توانند به طور مؤثر مشکلات را عیب‌یابی کرده و عملکرد بهینه و پایدار تصفیه‌خانه را حفظ کنند.

مثال های عملی عیب یابی :

عیب‌یابی در بخش تصفیه مقدماتی: محافظت از سیستم

بخش تصفیه مقدماتی، که شامل آشغالگیری (screening)، خرد کردن و حذف شن و ماسه است، نقش حیاتی در محافظت از تجهیزات پایین‌دست و حذف موادی دارد که در غیر این صورت، ظرفیت تصفیه را بدون اینکه تصفیه شوند، اشغال می‌کنند. هرگونه نقص یا خرابی در تجهیزات این بخش، به طور حتم مشکلات زنجیره‌ای در سراسر تصفیه‌خانه ایجاد خواهد کرد.

آشغالگیری (Bar Screens)

آشغالگیرها، چه از نوع دستی و چه مکانیکی، اولین خط دفاعی هستند.

• مشکل: سرریز فاضلاب از روی آشغالگیر دستی.

- سناریو: شیفیت صبح اپراتور متوجه می‌شود که فاضلاب به جای عبور از بین میله‌های آشغالگیر، از بالای آن سرریز می‌کند. سوابق نشان می‌دهد که شیفیت شب فقط یک بار آشغالگیر را تمیز کرده است.

○ **علت احتمالی:** عدم تمیز کردن منظم که منجر به تجمع بیش از حد آشغال و گرفتگی آشغالگیر شده است.

○ **اقدامات اصلاحی:** افزایش فوری دفعات تمیز کردن (مثلاً هر یک ساعت به جای هر چهار ساعت) و شستشوی پرفشار کانال‌ها برای از بین بردن رسوبات.

● **مشکل: صدای غیرعادی و عدم حرکت چنگک در آشغالگیر مکانیکی.**

○ **سناریو:** اپراتور صدای "جینگ" یا "قفل شدن" را از آشغالگیر مکانیکی می‌شنود و می‌بیند که چنگک جمع‌آوری آشغال حرکت نمی‌کند.

○ **علت احتمالی:** مشکل مکانیکی مانند شکستن زنجیر، گیر کردن آشغال بزرگ در مسیر حرکت چنگک، یا خرابی موتور.

○ **اقدامات اصلاحی:** فوراً دستگاه را خاموش کنید. منطقه را ایمن کنید و به پرسنل تعمیر و نگهداری متخصص اطلاع دهید تا مشکل را بررسی و رفع کنند (مثلاً بررسی زنجیر، تعویض قطعه معیوب).

● **مشکل: بوی شدید و وجود مگس در اطراف آشغالگیر دستی.**

○ **سناریو:** در اطراف آشغالگیر، بوی فاضلاب گندیده و تعداد زیادی مگس مشاهده می‌شود.

○ **علت احتمالی:** تجمع و فساد آشغال‌های جمع‌آوری شده که به موقع دفع نشده‌اند.

○ **اقدامات اصلاحی:** افزایش دفعات دفع آشغال‌ها به حداقل روزی دو بار یا بیشتر، و شستشوی منظم ناحیه برای جلوگیری از تجمع مواد آلی.

خرد کردن

خردکن‌ها وظیفه خرد کردن ذرات بزرگ در فاضلاب را بر عهده دارند.

● **مشکل: مشاهده ذرات درشت در خروجی خردکن.**

○ **سناریو:** اپراتور در حوضچه ته‌نشینی اولیه، لکه‌های بزرگ دستمال کاغذی یا پلاستیک را مشاهده می‌کند که باید توسط خردکن از بین رفته باشند.

○ **علت احتمالی:** کند شدن یا نامتوازن بودن تیغه‌های خردکننده.

○ **اقدامات اصلاحی:** خردکن را از سرویس خارج کرده و به پرسنل تعمیر و نگهداری اطلاع دهید تا تیغه‌ها را تیز یا تعویض کنند.

● **مشکل: توقف ناگهانی و مکرر خردکن.**

○ **سناریو:** خردکن به طور ناگهانی متوقف می‌شود و نیاز به ریست کردن دارد. این اتفاق چندین بار در یک شیفت رخ می‌دهد.

○ **علت احتمالی:** گیر کردن مکرر به دلیل نامتوازن بودن تیغه‌ها، ورود حجم زیادی از زباله‌های غیرقابل خرد شدن (مثلاً لباس یا تکه‌های چوب)، یا تیغه‌های بسیار کند.

- **اقدامات اصلاحی:** بررسی دقیق ورودی خردکن برای یافتن زباله‌های بزرگ و نامناسب، و در صورت ادامه مشکل، درخواست بررسی فنی تیغه‌ها.

حذف شن و ماسه (Grit Removal)

سیستم‌های حذف شن و ماسه از تجهیزات حیاتی برای محافظت از پمپ‌ها و تجهیزات پایین‌دست هستند.

- **مشکل: تجمع مواد آلی در حوضچه شن و ماسه از نوع کنترل‌سرعت.**
 - **سناریو:** اپراتور متوجه می‌شود که رنگ شن و ماسه جمع‌آوری شده تیره و بوی نامطبوعی دارد، که نشان‌دهنده وجود مواد آلی در آن است.
 - **علت احتمالی:** سرعت جریان خیلی کم در حوضچه، که باعث ته‌نشینی ذرات آلی سبک‌تر همراه با شن می‌شود.
 - **اقدامات اصلاحی:** افزایش سرعت جریان (مثلاً با تنظیم پمپ‌ها یا مسیر جریان) به سمت ۱/۴ فوت بر ثانیه، و افزایش دفعات تمیز کردن حوضچه.
- **مشکل: بوی شدید تخم‌مرغ گندیده از حوضچه شن و ماسه هوادهی شده.**
 - **سناریو:** بوی سولفید هیدروژن قوی در اطراف حوضچه شن و ماسه به مشام می‌رسد.
 - **علت احتمالی:** شرایط بی‌هوای در حوضچه به دلیل هوادهی ناکافی یا تجمع بیش از حد مواد آلی که باعث تولید H_2S شده است.
 - **اقدامات اصلاحی:** افزایش میزان هوادهی در حوضچه، بررسی نازل‌های هوادهی برای گرفتگی، و افزایش دفعات تمیز کردن حوضچه برای حذف مواد گندیده.
- **مشکل: مشاهده شن و ماسه در حوضچه ته‌نشینی اولیه**
 - **سناریو:** در کف حوضچه ته‌نشینی اولیه، مقداری شن و ماسه جمع شده است که نشان می‌دهد سیستم حذف شن و ماسه به درستی کار نکرده.
 - **علت احتمالی:** سرعت جریان خیلی زیاد در حوضچه شن و ماسه، که اجازه ته‌نشینی کافی شن را نمی‌دهد و آن را با جریان می‌برد.
 - **اقدامات اصلاحی:** کاهش سرعت جریان به سمت ۰/۷ فوت بر ثانیه، و بررسی طراحی و کارایی سیستم برای اطمینان از عملکرد مناسب.

عیب‌یابی در بخش تصفیه اولیه: جداسازی جامدات

تصفیه اولیه که شامل ته‌نشینی (sedimentation) یا زلال‌سازی (clarification) است، به منظور حذف جامدات قابل ته‌نشینی و مواد شناور در شرایط نسبتاً آرام طراحی شده است. ارزیابی عملکرد این بخش با نمونه‌برداری و آزمایش‌های کنترل فرآیند انجام می‌شود که شامل اندازه‌گیری جامدات قابل ته‌نشینی، اکسیژن محلول (DO)، pH، دما، کل جامدات معلق (TSS)، نیاز اکسیژنی بیوشیمیایی (BOD5)، جامدات لجن و مواد فرار است.

پارامترها و مشاهدات عملکرد عادی

- **حذف لجن :** باید به نرمی و بدون بالا آمدن توده‌های بزرگ لجن به سطح انجام شود. نرخ پمپاژ لجن باید به دقت کنترل شود تا از کونینگ (coning) (ایجاد مسیری مخروطی در لایه لجن) یا تجمع بیش از حد لجن جلوگیری شود.
- **عمق لایه لجن :** باید در سطوح مطلوب حفظ شود، نه خیلی کم و نه خیلی زیاد.
- **کارایی حذف :** واحد باید سطوح مورد انتظار از BOD_5 ، TSS و جامدات قابل ته‌نشینی را حذف کند.
- **نگهداری تجهیزات :** تجهیزات مکانیکی باید طبق برنامه‌های منظم و پیشگیرانه نگهداری شوند.

رفع مشکلات

- **مشکل: لجن شناور روی سطح حوضچه ته‌نشینی اولیه.**
 - سناریو : اپراتور متوجه لایه‌های تیره‌رنگ و گازی لجن روی سطح زلال‌ساز می‌شود که بوی نامطبوعی دارد.
 - علت احتمالی : تجزیه لجن در مخزن (گازسازی) به دلیل زمان ماند طولانی لجن، یا نیترات‌زدایی یا دنیتریفیکاسیون (تولید گاز نیتروژن) اگر فاضلاب نیترات داشته باشد.
 - اقدامات اصلاحی : افزایش دفعات یا نرخ پمپاژ لجن برای جلوگیری از گندیدگی. بررسی عملکرد مکانیزم جمع‌آوری لجن (پره‌ها یا زنجیرها) برای اطمینان از کارکرد صحیح. در صورت نیترات‌زدایی، می‌توان هوادهی در مراحل قبلی را کمی کاهش داد تا تشکیل نیترات کمتر شود.
- **مشکل: خروج فاضلاب سیاه و بوی گندیده از تصفیه اولیه.**
 - سناریو : فاضلاب خروجی از حوضچه اولیه به رنگ سیاه و دارای بوی سولفید هیدروژن (تخم‌مرغ گندیده) است.
 - علت احتمالی : گندیدگی شدید (سپتیسیت) در سیستم جمع‌آوری یا خود حوضچه اولیه، به دلیل زمان ماند طولانی فاضلاب، نقص پمپ لجن، یا تجمع لجن در گوشه‌ها.
 - اقدامات اصلاحی : افزایش دفعات پمپاژ لجن، بررسی گرفتگی خطوط لجن، و بهبود تهویه در ایستگاه‌های پمپاژ قبلی. در صورت وجود فاضلاب صنعتی، پیش‌تصفیه صنعتی را ارزیابی کنید.
- **مشکل: غلظت جامدات در لجن اولیه بسیار پایین است.**
 - سناریو : آزمایشگاه گزارش می‌دهد که درصد جامدات در لجن پمپ شده از حوضچه اولیه به جای ۳-۵٪، فقط ۱٪ است.
 - علت احتمالی : پمپاژ بیش از حد لجن (خارج کردن لجن با آب زیاد)، یا بار هیدرولیکی بیش از حد (جریان زیاد فاضلاب ورودی) که اجازه ته‌نشینی کافی را نمی‌دهد.
 - اقدامات اصلاحی : تنظیم زمان‌بندی یا نرخ پمپاژ لجن برای اطمینان از پمپ شدن لجن غلیظتر.

• **مشکل: از دست دادن جامدات (لجن) از روی سرریزهای پساب اولیه.**

- **سناریو:** در پساب خروجی از حوضچه اولیه، ذرات معلق تیره مشاهده می‌شود که از روی سرریزها عبور می‌کنند.
- **علت احتمالی:** سرریزهای ناهموار، جریان‌های کوتاه (short-circuiting) به دلیل طراحی نامناسب یا بار هیدرولیکی بالا، یا نقص در پره‌های جمع‌آوری لجن که لجن را به سمت سرریز می‌برند.
- **اقدامات اصلاحی:** بازرسی و تراز کردن سرریزها، بررسی الگوی جریان در حوضچه، و تعمیر یا تنظیم مکانیزم‌های جمع‌آوری لجن.

عیب‌یابی در بخش لجن فعال: قلب تصفیه بیولوژیکی

فرآیند لجن فعال از میکروارگانیسم‌ها در یک مخزن هوادهی شده برای تجزیه و متابولیسم مواد آلی استفاده می‌کند، سپس این میکروارگانیسم‌ها در یک زلال‌ساز ثانویه ته‌نشین می‌شوند. برای عملکرد بهینه، تعادل دقیق و پیوسته‌ای بین سه عامل اصلی: غذا (مواد آلی)، موجودات زنده (لجن فعال) و اکسیژن (DO) باید حفظ شود.

مشکلات و علل رایج

اکثر مشکلات در سیستم لجن فعال ناشی از عدم تعادل در این سه عامل کلیدی است. بارگذاری بیش از حد یا کمتر از حد مواد آلی می‌تواند به سیستم شوک وارد کند. همچنین، ورود مواد سمی می‌تواند به میکروارگانیسم‌ها آسیب جدی وارد کرده یا آن‌ها را از بین ببرد.

• **مشکل: حجیم شدن لجن (Bulking).**

- **سناریو:** لجن در زلال‌ساز ثانویه به خوبی ته‌نشین نمی‌شود و به جای ته‌نشینی فشرده، یک لایه حجیم و سبک تشکیل می‌دهد که حتی از روی سرریزها هم خارج می‌شود. آزمایش میکروسکوپی وجود رشته‌های بلند باکتریایی را نشان می‌دهد.
- **علت احتمالی:** رشد باکتری‌های رشته‌ای (Filamentous Growth) به دلیل کمبود اکسیژن، کمبود مواد مغذی یا بارگذاری آلی نامناسب.
- **اقدامات اصلاحی:** افزایش هوادهی در مخزن هوادهی، افزودن کلر یا پراکسید هیدروژن به جریان لجن برگشتی (RAS) با دوز کنترل‌شده برای از بین بردن باکتری‌های رشته‌ای، یا بررسی و تنظیم نسبت BOD به نیتروژن و فسفر (F/M Ratio).

• **مشکل: کف ضخیم و قهوه‌ای روی مخزن هوادهی.**

- **سناریو:** یک لایه کف ضخیم، پایدار و قهوه‌ای مایل به خاکستری روی سطح مخزن هوادهی شکل گرفته است.
- **علت احتمالی:** سن لجن (Sludge Age) بسیار بالا (لجن بیش از حد پیر) که منجر به رشد میکروارگانیسم‌های تولیدکننده کف می‌شود، یا وجود چربی و روغن بیش از حد در فاضلاب ورودی.

- **اقدامات اصلاحی:** افزایش نرخ دفع لجن برای کاهش سن لجن، استفاده از اسپری‌های آب برای شکستن کف، و بهبود حذف چربی و روغن در مراحل پیش‌تصفیه.

• **مشکل: اکسیژن محلول (DO) در مخزن هوادهی بسیار پایین است.**

- **سناریو:** دستگاه اندازه‌گیری DO، مقادیری کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر را در نقاط مختلف مخزن هوادهی نشان می‌دهد و بوی گندیدگی از مخزن به مشام می‌رسد.
- **علت احتمالی:** بارگذاری آلی بیش از حد (ورود مواد آلی زیاد) که نیاز به اکسیژن را افزایش می‌دهد، یا مشکل در سیستم هوادهی (کمبود هوا از کمپرسورها، گرفتگی دیفیوزرها).
- **اقدامات اصلاحی:** افزایش جریان هوا از کمپرسورها، بررسی دیفیوزرها برای گرفتگی، و در صورت امکان کاهش بار آلی ورودی به مخزن هوادهی.

• **مشکل: مرگ و میر ناگهانی میکروارگانیسم‌ها در لجن فعال.**

- **سناریو:** در عرض چند ساعت، کیفیت پساب به شدت افت می‌کند، رنگ لجن تغییر می‌کند و در آزمایش میکروسکوپی، تعداد بسیار کمی از میکروارگانیسم‌های فعال مشاهده می‌شود.
- **علت احتمالی:** ورود مواد سمی (toxic material) مانند مواد شیمیایی صنعتی یا حلال‌ها به سیستم.
- **اقدامات اصلاحی:** فوراً دفع لجن را متوقف کنید تا لجن بیشتری از سیستم خارج نشود. نرخ برگشت لجن (RAS) را افزایش دهید تا مواد سمی رقیق شده و جمعیت میکروبی باقی‌مانده حفظ شود. منبع آلاینده سمی را شناسایی کنید (مثلاً از طریق تماس با صنایع محلی) و اجرای برنامه پیش‌تصفیه صنعتی را تشدید کنید. در برخی موارد، ممکن است نیاز به ایزوله کردن مخزن باشد.

عیب‌یابی در بخش فیلترهای چکنده: تصفیه با لایه بیولوژیکی ثابت

فیلترهای چکنده، دستگاه‌های تصفیه بیولوژیکی با لایه بیولوژیکی ثابت (fixed film) هستند که در آن‌ها فاضلاب به صورت قطرات روی محیطی که با یک لایه بیولوژیکی (اسلایم) پوشیده شده است، جریان می‌یابد. این اسلایم مواد آلی را جذب می‌کند و هوا از طریق محیط به گردش در می‌آید تا اکسیژن لازم برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها را فراهم کند.

مشکلات رایج و راه‌حل‌ها

• **مشکل: تجمع آب (Ponding) روی سطح فیلتر چکنده.**

- **سناریو:** اپراتور مشاهده می‌کند که آب به جای نفوذ به داخل بستر فیلتر، در تقاطعی روی سطح آن جمع شده و حوضچه‌های کوچک تشکیل داده است.
- **علت احتمالی:** گرفتگی فضاهای خالی بستر فیلتر به دلیل رشد بیش از حد لایه بیولوژیکی (biofilm)، تجمع زباله، یا تخریب محیط فیلتر.
- **اقدامات اصلاحی:** افزایش نرخ گردش مجدد برای شستشوی بستر، استفاده از جت آب پر فشار برای شکستن گرفتگی‌ها، شخم‌زنی یا چنگک زدن دستی نواحی مسدود شده، یا در موارد

شدیدتر، دوز کردن با محلول کلر (با دقت زیاد) برای کاهش رشد بیولوژیکی. همچنین غرقاب کردن فیلتر (مثلاً برای چند ساعت در هفته) می‌تواند به شستشوی گرفتگی‌ها کمک کند.

• **مشکل: حضور تعداد زیاد مگس‌های فیلتر در اطراف تصفیه‌خانه.**

- **سناریو:** شکایات از سوی همسایگان در مورد تعداد زیاد مگس‌های کوچک سیاه رنگ که از تصفیه‌خانه می‌آیند، دریافت می‌شود.
- **علت احتمالی:** تولید مثل مگس‌ها در محیط مرطوب فیلتر چکنده.
- **اقدامات اصلاحی:** غرقاب کردن دوره‌ای فیلتر (مثلاً یک بار در هفته به مدت ۲۴ ساعت) برای غرق کردن لاروها و تخم‌ها، یا استفاده از حشرکش‌های مجاز (با رعایت پروتکل‌های ایمنی و زیست‌محیطی). (افزایش گردش مجدد نیز می‌تواند به کنترل مگس‌ها کمک کند).

• **مشکل: بوی شدید و نامطبوع (بوی گندیدگی) از فیلتر چکنده.**

- **سناریو:** بوی سولفید هیدروژن قوی از فیلتر چکنده به مشام می‌رسد، به خصوص در نزدیکی بستر.
- **علت احتمالی:** شرایط بی‌هوازی در بستر فیلتر به دلیل تهویه ضعیف یا بارگذاری آلی بیش از حد، یا ورود فاضلاب گندیده (سپتیک) به فیلتر.
- **اقدامات اصلاحی:** بهبود تهویه فیلتر (مثلاً با اطمینان از عدم گرفتگی ورودی/خروجی هوا)، افزایش نرخ گردش مجدد برای اکسیژن‌رسانی بیشتر و کاهش زمان ماند فاضلاب، و حفظ شرایط هوازی در مراحل بالادست تصفیه.

• **مشکل: کیفیت پساب خروجی فیلتر چکنده پایین است (BOD/TSS بالا).**

- **سناریو:** نتایج آزمایشگاه نشان می‌دهد که BOD₅ و TSS در پساب خروجی از زلال‌ساز ثانویه (پس از فیلتر چکنده) بالاتر از حد مجاز است.
- **علت احتمالی:** بارگذاری هیدرولیکی یا آلی بیش از حد بر فیلتر، تصفیه اولیه ضعیف (که بار زیادی بر فیلتر وارد می‌کند)، یا تهویه نامناسب در فیلتر. همچنین ممکن است مشکل ریزشی بیش از حد (excessive sloughing) باشد که جامدات زیادی را به زلال‌ساز می‌فرستد.
- **اقدامات اصلاحی:** ارزیابی و بهبود عملکرد تصفیه اولیه، تنظیم بار هیدرولیکی/آلی (مثلاً با کاهش جریان ورودی یا افزایش گردش مجدد)، بهبود تهویه فیلتر و تنظیم نرخ گردش مجدد برای کنترل ریزشی.

عیب‌یابی در بخش تماس‌دهنده‌های بیولوژیکی چرخان (RBCs): تصفیه با دیسک‌های دوار

RBCs سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی با لایه ثابت هستند که در آن‌ها دیسک‌های چرخان به طور جزئی در فاضلاب غوطه‌ور می‌شوند. یک لایه بیولوژیکی (اسلایم) روی سطح این دیسک‌ها رشد می‌کند و با چرخش دیسک‌ها، به طور متناوب در معرض فاضلاب برای جذب مواد آلی و سپس در معرض هوا برای دریافت اکسیژن قرار می‌گیرد.

• مشکل: وجود لایه سفید و نازک روی دیسک‌های RBC.

- سناریو: اپراتور مشاهده می‌کند که به جای لایه بیولوژیکی قهوه‌ای و پرزدار، دیسک‌ها با یک لایه نازک و سفیدرنگ پوشیده شده‌اند.
- علت احتمالی: غلظت بالای سولفید هیدروژن (H_2S) یا ورودی فاضلاب گندیده (سپتیک) که منجر به رشد باکتری‌های کاهنده سولفات شده است. همچنین می‌تواند نشان‌دهنده بارگذاری بیش از حد آلی در مرحله اول RBC باشد.
- اقدامات اصلاحی: هوادهی فاضلاب ورودی قبل از RBC، افزودن مواد شیمیایی مانند نیترات سدیم یا پراکسید هیدروژن برای کنترل شرایط بی‌هوازی، و تنظیم بافل‌ها (در صورت وجود) برای بهبود توزیع جریان و افزایش سطح تماس در مرحله اول. پیش‌کلرزی ورودی نیز می‌تواند به کنترل باکتری‌های تولیدکننده H_2S کمک کند.

• مشکل: ریزشی بیش از حد لایه بیولوژیکی از دیسک‌ها.

- سناریو: مقادیر زیادی از لایه بیولوژیکی به جای جدا شدن کنترل‌شده، به صورت توده‌ای از دیسک‌ها جدا شده و وارد زلال‌ساز ثانویه می‌شود که منجر به افزایش TSS پساب می‌شود.
- علت احتمالی: تغییرات شدید pH در فاضلاب ورودی شوک pH یا ورود مواد سمی که به لایه بیولوژیکی آسیب رسانده‌اند.
- اقدامات اصلاحی: بررسی و کنترل pH فاضلاب ورودی نصب سیستم کنترل pH در صورت نیاز، و اجرا یا تقویت برنامه پیش‌تصفیه صنعتی برای جلوگیری از ورود مواد سمی.

• مشکل: صداهای غیرعادی (لرزش) و گرم شدن بیش از حد بلبرینگ‌های RBC.

- سناریو: هنگام بازرسی، اپراتور صدای بلبرینگ‌های RBC را می‌شنود و متوجه می‌شود که بلبرینگ‌ها داغ شده‌اند.
- علت احتمالی: نقص مکانیکی در بلبرینگ‌ها، مشکل در زنجیر دراو (کشش نامناسب یا سایش)، یا عدم روانکاری کافی.
- اقدامات اصلاحی: فوراً واحد را خاموش کنید تا از آسیب بیشتر جلوگیری شود. به پرسنل تعمیر و نگهداری اطلاع دهید تا بلبرینگ‌ها را بازرسی، روغن‌کاری، یا تعویض کنند. همچنین کشش زنجیرها و تسمه‌ها را بررسی و تنظیم کنند.

عیب‌یابی در بخش حوضچه‌های تصفیه فاضلاب (لاگون‌ها): تصفیه طبیعی

حوضچه‌های تصفیه فاضلاب یا لagoon‌ها، سیستم‌هایی هستند که از فرآیندهای طبیعی برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌کنند. این فرآیندها شامل ته‌نشینی، تجزیه بیولوژیکی توسط باکتری‌ها (هم هوازی و هم بی‌هوازی)، و فتوسنتز توسط جلبک‌ها است.

• مشکل: شکوفایی شدید جلبکی و ایجاد "فرش جلبکی" روی سطح حوضچه.

- سناریو: سطح حوضچه تصفیه با یک لایه ضخیم و سبز تیره از جلبک پوشیده شده است که مانع از نفوذ نور می‌شود و بوی خاصی می‌دهد.
- علت احتمالی: فراوانی بیش از حد مواد مغذی (نیترات و فسفر) در فاضلاب ورودی. در حوضچه‌های پایانی، زمان ماند بیش از حد یا عمق کم می‌تواند به رشد بیش از حد جلبک‌ها منجر شود.
- اقدامات اصلاحی: کاهش بارگذاری مواد مغذی از طریق پیش‌تصفیه، تنظیم زمان ماند حوضچه، یا استفاده از روش‌های حذف جلبک در پساب خروجی (مانند میکرو-اسکرینینگ یا فیلتراسیون). در موارد شدید، دوز کردن کنترل‌شده سولفات مس می‌تواند برای کنترل جلبک‌ها استفاده شود.

• مشکل: بوهای شدید و مداوم از حوضچه‌ها.

- سناریو: شکایات مکرر از همسایگان در مورد بوی بد (به خصوص بوی سولفید هیدروژن) از حوضچه‌ها دریافت می‌شود.
- علت احتمالی: بارگذاری بیش از حد آلی بر حوضچه، شرایط بی‌هوای شدید، یا نگهداری نامناسب (تجمع لجن در کف).
- اقدامات اصلاحی: منحرف کردن بخشی از جریان ورودی به حوضچه‌های دیگر برای کاهش بار، پیش‌هوا دهی فاضلاب ورودی به حوضچه، افزودن مواد شیمیایی مانند نیترات سدیم یا پراکسید هیدروژن برای تامین اکسیژن و کنترل شرایط بی‌هوای، یا استفاده از مواد شیمیایی کنترل بو. گردش مجدد آب از حوضچه‌های پایانی به ابتدایی نیز می‌تواند کمک‌کننده باشد.

• مشکل: کیفیت پساب خروجی از حوضچه پایین (نسبت BOD/TSS بالا است).

- سناریو: نتایج آزمایشگاه نشان می‌دهد که فاضلاب خروجی از حوضچه‌ها استانداردهای لازم را ندارد.
- علت احتمالی: بارگذاری بیش از حد بار آلی یا هیدرولیکی، جریان کوتاه (short-circuiting) در حوضچه که باعث کاهش زمان تماس مؤثر می‌شود، یا فعالیت بیولوژیکی پایین به دلیل دمای کم یا ورود مواد سمی.
- اقدامات اصلاحی: بررسی و رفع جریان کوتاه مثلاً با نصب بافل، کاهش بارگذاری ورودی، و بررسی عوامل مؤثر بر فعالیت بیولوژیکی نظیر دما و سمیت.

• مشکل: آسیب به دیواره‌های حوضچه (سیل‌بندها).

- سناریو: اپراتور متوجه فرسایش در لبه‌های دیواره‌ها، حفره‌های ایجاد شده توسط حیوانات، یا رشد بیش از حد علف‌های هرز می‌شود.
- علت احتمالی: فرسایش ناشی از آب و هوا، فعالیت حیوانات حفار (مانند موش آبی)، یا عدم نگهداری منظم.

- **اقدامات اصلاحی:** کنترل علف‌های هرز، پر کردن حفره‌ها و تعمیر نواحی فرسایش‌دیده، و در صورت لزوم استفاده از سنگ‌ریزه برای محافظت از شیب دیواره‌ها.

عیب‌یابی در بخش مدیریت لجن: تثبیت و دفع بایوسالیدها

لجن یا بایوسالیدها، محصول جانبی فرآیندهای تصفیه اولیه، ثانویه و شیمیایی فاضلاب هستند. لجن تصفیه نشده باید قبل از دفع، پایدار (هضم) شود تا خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی آن کاهش یابد. فرآیندهای رایج در مدیریت لجن شامل غلظت‌دهی لجن، هضم (بی‌هوازی یا هوازی)، آبگیری، سوزاندن و کاربرد در زمین است. هرگونه نقص یا ناکافی بودن در سیستم تصفیه لجن می‌تواند عملکرد کلی تصفیه‌خانه را به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

اختلالات هاضم (Digester Upsets)

هاضم‌ها (چه هوازی و چه بی‌هوازی) برای تثبیت لجن به کار می‌روند.

• مشکل: افت ناگهانی pH در هاضم بی‌هوازی.

- **سناریو:** اپراتور متوجه می‌شود که pH هاضم بی‌هوازی از ۷/۰ به ۶/۵ کاهش یافته و تولید گاز متان به شدت افت کرده است.
- **علت احتمالی:** اسیدی شدن هاضم (Digester Souring) به دلیل بارگذاری بیش از حد آلی، ورود مواد سمی، یا کمبود قلیانیت که باعث تجمع اسیدهای فرار شده است.
- **اقدامات اصلاحی:** فوراً نرخ تغذیه هاضم را کاهش دهید. افزودن قلیانیت (مانند آهک یا بیکربنات سدیم) به آرامی برای افزایش pH. بررسی نسبت اسیدهای فرار به قلیانیت (VFA/Alkalinity ratio) برای پایش وضعیت هاضم. (نسبت بالای ۰/۵ نشان‌دهنده مشکل جدی است).

• مشکل: کف کردن شدید در هاضم بی‌هوازی.

- **سناریو:** هاضم به شدت کف کرده است و لجن از دریچه‌ها سرریز می‌کند.
- **علت احتمالی:** بارگذاری بیش از حد آلی، ورود ناگهانی مواد سمی یا شوک حرارتی، یا اختلال در سیستم اختلاط هاضم.
- **اقدامات اصلاحی:** کاهش نرخ تغذیه، افزایش دوره‌ای نرخ اختلاط، یا تزریق آب ضدکف (anti-foaming agent).

مشکلات آبگیری (Dewatering Issues)

فرآیندهایی مانند فیلتراسیون وکیوم دوار و فیلتراسیون تحت فشار (مانند پرس فیلتر تسمه‌ای و پرس پلیت) برای حذف آب از لجن (کاهش حجم لجن و افزایش غلظت جامدات) استفاده می‌شوند.

• مشکل: کیک فیلتر بسیار مرطوب یا عدم تشکیل کیک در پرس فیلتر تسمه‌ای.

- **سناریو:** لجن از پرس فیلتر خارج می‌شود اما بسیار آبکی است و به جای کیک جامد، بیشتر شبیه مایع غلیظ است.

- **علت احتمالی:** تهویه شیمیایی ناکافی لجن (دوز نامناسب یا نوع اشتباه پلیمر)، لجن خیلی رقیق، یا تنظیمات نادرست دستگاه (کشش تسمه، سرعت).
- **اقدامات اصلاحی:** بررسی و تنظیم دوز پلیمر (افزایش دوز یا تغییر نوع پلیمر). بررسی غلظت لجن ورودی به دستگاه. تنظیم کشش و سرعت تسمه‌ها و بررسی گرفتگی نازل‌های شستشوی تسمه.

• **مشکل: نشت لجن از بین صفحات پرس پلیت.**

- **سناریو:** لجن به جای اینکه به عنوان کیک از دستگاه خارج شود، از بین صفحات پرس به بیرون نشت می‌کند.
- **علت احتمالی:** عدم آب‌بندی صحیح صفحات مثلاً به دلیل کثیف بودن لبه صفحات، آسیب دیدن واشرها، یا فشار ناکافی بستن صفحات
- **اقدامات اصلاحی:** بررسی و تمیز کردن کامل لبه صفحات، بررسی واشرهای آب‌بندی برای هرگونه آسیب، و اطمینان از فشار کافی برای بستن صفحات.

مشکلات بسترهای خشک‌کن (Drying Bed Problems)

بسترهای خشک‌کن بیوسولیدها برای خشک کردن لجن هضم‌شده (بیوسولیدها) با استفاده از تبخیر طبیعی و زهکشی استفاده می‌شوند.

• **مشکل: زمان خشک‌شدن لجن روی بسترها بسیار طولانی است.**

- **سناریو:** لجن پس از گذشت هفته‌ها روی بستر خشک‌کن، هنوز مرطوب است و به سختی می‌توان آن را برداشت.
- **علت احتمالی:** لجن هضم‌شده ناکافی لجن خام یا نیمه‌هضم‌شده که آب را به خوبی آزاد نمی‌کند، شرایط آب و هوایی نامناسب (باران زیاد، رطوبت بالا)، یا ضخامت بیش از حد لجن روی بستر.
- **اقدامات اصلاحی:** بررسی و بهبود فرآیند هضم لجن در هاضم. اعمال لجن با ضخامت کمتر روی بستر. در صورت لزوم، شکستن پوسته لجن برای افزایش تبخیر.

• **مشکل: بوی نامطبوع و وجود حشرات در اطراف بسترهای خشک‌کن.**

- **سناریو:** بوی گندیدگی از بسترهای خشک‌کن به مشام می‌رسد و تعداد زیادی مگس و سایر حشرات مشاهده می‌شوند.
- **علت احتمالی:** لجن نیمه‌هضم‌شده یا خام که باعث تولید گازهای بدبو و جذب حشرات می‌شود، یا تجمع لجن قدیمی که به سرعت برداشت نشده است.
- **اقدامات اصلاحی:** اطمینان از هضم کامل لجن قبل از اعمال آن بر بستر. برداشت سریع لجن خشک‌شده. افزودن آهک به لجن برای کنترل بو و حشرات. استفاده از لاروکش‌ها/حشرمکش‌ها در صورت لزوم.

عیب‌یابی در بخش گندزدایی و کلرزدایی: تضمین کیفیت پساب

گندزدایی، که اغلب با استفاده از کلر انجام می‌شود، آخرین مرحله برای کشتن ارگانیزم‌های بیماری‌زا در فاضلاب قبل از تخلیه آن به محیط طبیعی است. پس از گندزدایی، کلرزدایی (dechlorination) ممکن است ضروری باشد تا کلر باقیمانده که برای حیات آبزیان سمی است، حذف شود.

عیب‌یابی کلرزنی (Chlorination Troubleshooting)

• مشکل: عدم رعایت استاندارد شمارش کلیفرم در پساب نهایی.

- سناریو: نتایج آزمایشگاه نشان می‌دهد که تعداد باکتری‌های کلیفرم در پساب خروجی بیش از حد مجاز است، با اینکه کلر تزریق می‌شود.
- علت احتمالی: دوز ناکافی کلر، زمان تماس ناکافی در مخزن تماس، اختلاط ضعیف کلر با فاضلاب، جریان کوتاه در مخزن تماس، کیفیت ضعیف پساب ورودی (به دلیل TSS یا BOD بالا که کلر را مصرف می‌کند).
- اقدامات اصلاحی: افزایش دوز کلر با نظارت دقیق، بررسی زمان تماس ممکن است نیاز به افزایش باشد، بررسی و بهبود سیستم اختلاط کلر، بازرسی مخزن تماس برای رفع جریان کوتاه، و بهبود عملکرد تصفیه ثانویه برای کاهش TSS و BOD پساب.

• مشکل: عدم تزریق کلر توسط کلرزنی گازی.

- سناریو: اپراتور مشاهده می‌کند که گیج فشار گاز کلر صفر است و هیچ کلری تزریق نمی‌شود.
- علت احتمالی: سیلندر کلر خالی است، شیر سیلندر بسته است، خط گاز کلر مسدود شده است، یا مشکل در سیستم وکیوم کلرزنی.
- اقدامات اصلاحی: بررسی و تعویض سیلندر خالی، باز کردن شیرها، بررسی و رفع گرفتگی خطوط، و اطمینان از عملکرد صحیح سیستم وکیوم مثلاً بررسی پمپ آب یا جت وکیوم.

عیب‌یابی کلرزدایی (Dechlorination Troubleshooting - Sulfonators)

کلرزدایی اغلب با استفاده از دی‌اکسید گوگرد (SO_2) در دستگاه‌های سولفوناتور انجام می‌شود.

• مشکل: وجود کلر باقیمانده در پساب خروجی پس از کلرزدایی.

- سناریو: آزمایشات پساب خروجی از تصفیه‌خانه نشان می‌دهد که هنوز مقدار کمی کلر باقیمانده وجود دارد که می‌تواند برای حیات آبزیان مضر باشد.
- علت احتمالی: ظرف دی‌اکسید گوگرد خالی است، شیرها بسته هستند، دوز دی‌اکسید گوگرد ناکافی است، اختلاط ضعیف، یا نقص در سولفوناتور.
- اقدامات اصلاحی: بررسی و تعویض ظرف SO_2 خالی، باز کردن شیرها، افزایش دوز SO_2 ، بررسی و بهبود سیستم اختلاط، و عیب‌یابی سولفوناتور.

• مشکل: بوی دی‌اکسید گوگرد (مانند بوی سوختن کبریت) در اطراف سولفوناتور.

- سناریو: اپراتور بوی تند و خاص دی اکسید گوگرد را در فضای نزدیک سولفوناتور حس می‌کند.
- علت احتمالی: نشتی گاز دی اکسید گوگرد از اتصالات، شیرها، یا خود دستگاه.
- اقدامات اصلاحی: این یک وضعیت اضطراری است. فوراً منطقه را تخلیه کنید، به سرپرست اطلاع دهید، و فقط با تجهیزات حفاظت فردی مناسب مانند ماسک تنفسی SCBA برای رفع نشتی اقدام کنید.

فهرست منابع و مآخذ

- Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5th Edition, McGraw-Hill Education, 2013.
- Tchobanoglous, G. et al. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. 4th Edition, 2002.
- US EPA. *Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems*. EPA 832-R-04-001, 2004.
- WHO. *Safe Use of Wastewater in Agriculture: Guidelines*, 2006.
- سازمان حفاظت محیط زیست ایران. *راهنمای بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری*. شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.
- WEF. *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants*. MOP 11, 7th Edition, 2016.
- US EPA. *Wastewater Technology Fact Sheet: Primary Treatment*. EPA 832-F-00-018, 2000.
- Tchobanoglous & Burton. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 2003.
- شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. *استانداردهای طراحی تصفیه‌خانه‌ها*. دفتر فنی، جلد دوم.
- APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd Edition, 2017.
- Jenkins, D. et al. *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*. 2nd Edition, Lewis Publishers, 2003.
- US EPA. *Activated Sludge Process Control Manual*, 2001.
- WEF. *Biological Nutrient Removal (BNR) Operation in Wastewater Treatment Plants*. MOP 29, 2011.

- Tchobanoglous et al. *Wastewater Engineering*. Chapters 8–10, 2003.
- سازمان ملی استاندارد ایران. *استاندارد ۴۵۵۷: راهنمای بهره‌برداری از فرآیند لجن فعال*.
- US EPA. *Wastewater Technology Fact Sheet: Trickling Filter*. EPA 832-F-99-003, 1999.
- US EPA. *Design Manual: Rotating Biological Contactors*. EPA 625/1-80-015, 1980.
- WHO. *Wastewater Stabilization Ponds: Principles of Planning and Practice*, 2006.
- Arthur, J.P. *Notes on the Design and Operation of Waste Stabilization Ponds in Warm Climates*. World Bank, 1983.
- شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. *راهنمای طراحی و بهره‌برداری از لاگون‌های فاضلاب*. ۱۳۹۵.
- سازمان ملی استاندارد ایران. *استانداردهای صافی چکنده و لاگون‌ها 4559 و ۴۵۶۲*.
- WEF. *Solids Process Design and Management*. MOP 8, 2nd Edition, 2014.
- US EPA. *Biosolids Technology Fact Sheet: Thickening*. EPA 832-F-00-053, 2000.
- US EPA. *Process Design Manual: Sludge Treatment and Disposal*. EPA 625/1-79-011, 1979.
- WHO. *Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture*, 2006.
- سازمان حفاظت محیط زیست ایران. *راهنمای طراحی و بهره‌برداری از واحدهای لجن*. ۱۳۹۵.
- سازمان ملی استاندارد ایران. *استاندارد ۴۵۵۸: مدیریت و دفع لجن فاضلاب*. ۱۳۹۰.
- US EPA. *Wastewater Technology Fact Sheet: Disinfection*. EPA 832-F-99-062, 1999.
- WHO. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th Edition, 2017.
- AWWA. *Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water*. 6th Edition, 2011.
- US EPA. *Design Manual: Municipal Wastewater Disinfection*. EPA 625/1-86/021, 1986.
- سازمان حفاظت محیط زیست ایران. *راهنمای سیستم‌های گندزدایی*. ۱۳۹۳.
- سازمان ملی استاندارد ایران. *استاندارد ۱۰۵۳: آزمون کلر باقی‌مانده آزاد و ترکیبی*.
- انجمن بهداشت محیط ایران. *دستورالعمل ایمنی کار با گاز کلر*. ۱۳۹۷.
- USEPA. *NPDES Compliance Inspection Manual*. 2017.

- USEPA. *Handbook for Sampling and Sample Preservation*. EPA/600/4-82/029, 1982.
- WHO. *Water Quality Monitoring – A Practical Guide*, 1996.
- استاندارد ملی ایران ۳۷۵۹. روش اندازه‌گیری *DO*.
- استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳. آزمون کلر باقی‌مانده آزاد و ترکیبی.
- سازمان حفاظت محیط زیست ایران. راهنمای پایش خروجی تصفیه‌خانه‌ها. ۱۳۹۸.
- انجمن بهداشت محیط ایران. راهنمای بهره‌برداری از آزمایشگاه‌های فاضلاب
- OSHA. *General Industry Regulations 1910 ‘Lockout/Tagout ‘Confined Spaces*.
- WEF. *Safety, Health, and Security in Wastewater Systems*. MOP 1, 6th Edition, 2016.
- USEPA. *Emergency Response Plan Guidance ‘Chemical Safety Manual*.
- APWA. *Preventive Maintenance for Wastewater Treatment Plants*.
- AWWA. *Standard G200 – Distribution Systems Operation and Management*, 2017.
- NIOSH. *Occupational Exposure Sampling Strategy Manual*.
- سازمان ملی استاندارد ایران. ایمنی مواد شیمیایی – روش‌های کنترل مواجهه.
- سازمان حفاظت محیط زیست ایران. راهنمای ایمنی و بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌ها
- WHO. *Health Aspects of Wastewater and Sludge Management*, 2006.