

فاضلاب صنعتی

Industrial Wastewater

فاضلاب صنعتی، آلودگی منابع آب، بهداشت محیط، کمینه‌سازی فاضلاب، تصفیه فاضلاب

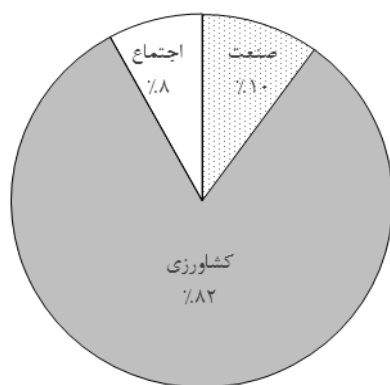
فاضلاب‌ها براساس منبع تولید و خصوصیات کمی و کیفی در سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند: ۱. فاضلاب خانگی (Domestic wastewater): شامل فاضلاب‌هایی که در مناطق مسکونی، تجاری و مؤسسات تولید می‌شوند؛ ۲. فاضلاب کشاورزی (Agricultural wastewater): مربوط به فعالیت‌های کشاورزی؛ ۳. فاضلاب صنعتی (Industrial wastewater): فاضلابی که در کارخانه‌ها و کارگاه‌ها تولید می‌شود.

در میان انواع فاضلاب‌ها، فاضلاب صنعتی دستخوش تغییرات (تنوع و نوسان) کمی و کیفی بیشتری است و در مجموع آلودگی آن به ترکیبات سمی و خطرناک بیشتر است و تهدید بزرگتری برای سلامتی انسان و محیط زیست محسوب می‌شود. مهم‌ترین دلایل ضرورت مدیریت فاضلاب صنعتی را می‌توان از این قرار برشمرد: ۱. تأمین سلامت جامعه؛ ۲. حفاظت از محیط زیست؛ ۳. تأمین منابع آبی جدید و باز مصرف پساب؛ و ۴. جنبه‌های زیباشناختی و حفظ زیبایی محیط زیست و چشم‌اندازها (۱).

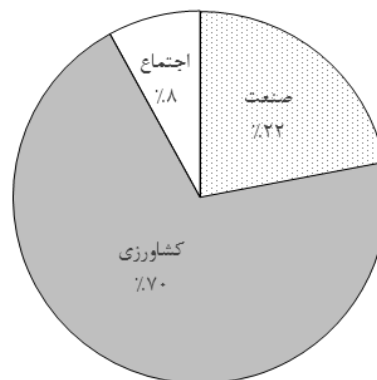
تولید فاضلاب در بخش صنعت

تولید فاضلاب حاصل مصرف آب است؛ از این رو برای دستیابی به اطلاعات درست در مورد تولید فاضلاب صنعتی، ابتدا باید مصرف آب در این بخش تحلیل شود. سهم مصارف عمده آب در سه بخش اجتماع، صنعت و کشاورزی (مصارف مستلزم برداشت آب از منابع) را در شکل ۱ مشاهده می‌کنید. مطابق شکل ۱، سهم مصارف صنعتی در ایران (۲ درصد) نه تنها از میانگین جهانی (۲۲ درصد) بلکه از میانگین کشورهای در حال توسعه (۱۰ درصد) نیز کمتر است. افزایش بهره‌وری آب در بخش

صنعت از دو جنبه مزیت دارد: ۱. کاهش نیاز آبی و هزینه‌ها و چالش‌های تأمین آب؛ و ۲. کاهش تولید و هزینه‌ها و چالش‌های تصفیه فاضلاب. نحوه مدیریت مصرف و میزان بهره‌وری آب در بخش صنعت با شاخص‌های سرانه مصرف آب صنعتی، ردپای آب (Water footprint) محصولات صنعتی (مجموع حجم آبی که به‌طور مستقیم و نامستقیم به‌ازای تولید واحد یک محصول صنعتی مصرف می‌شود) و بهره‌وری اقتصادی مصارف صنعتی آب (ارزش اقتصادی کلای تولید شده به‌ازای واحد حجم آب مصرفی) بیان می‌شود که این شاخص‌ها باید در طرح‌های توسعه صنعتی ملاحظه شود (۲، ۳).



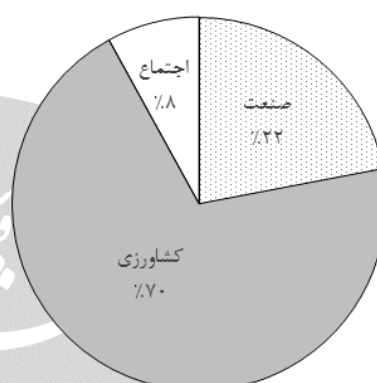
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۱. سهم مصارف آب در بخش‌های اجتماع، صنعت و کشاورزی. (الف) کشورهای توسعه یافته، (ب) کشورهای در حال توسعه، (ج) کانادا و (د) ایران (۲، ۳)

دسته‌بندی می‌شود: ۱. جامدات معلق (TSS)؛ ۲. مواد معدنی محلول (املاح، سختی و شوری)؛ ۳. مواد آلی محلول؛ ۴. آلاینده‌های آلی اولویت‌دار (Organic priority pollutants)؛ ۵. فلزات سنگین و سایر مواد غیرآلی سمی (نظیر سیانید)؛ ۶. رنگ و کدورت؛ ۷. نیتروژن و فسفر (مواد مغذی)؛ ۸. روغن و مواد شناور؛ ۹. مواد پرتوزا (در فاضلاب نیروگاه‌های هسته‌ای، تولید رادیوداروها، مراکز تحقیقات پزشکی هسته‌ای و...)؛ ۱۰. شوینده‌ها و مواد کفزا؛ ۱۱. ریزاندامگان‌های بیماری‌زا؛ ۱۲. pH اسیدی و قلیایی؛ و ۱۳. دمای بالا (۵). در جدول ۲ منابع تولید و خصوصیات کیفی فاضلاب تولیدی در برخی صنایع درج شده است.

برخی از مهم‌ترین مکان‌های تولید فاضلاب در صنعت را می‌توان از این قرار برشمرد: مصرف آب به‌عنوان ماده اولیه و واکنشگر؛ دیگ بخار؛ خنک‌سازی؛ گرمایش؛ انتقال مواد شیمیایی و محصولات؛ شستشوی سالن تولید، تجهیزات و محصولات؛ حل‌ال؛ رقیق‌سازی؛ بخش اداری (شامل سرویس‌های بهداشتی، آشپزخانه، دوش و...) در بخش اداری هر تأسیسات صنعتی کمابیش فاضلابی تولید می‌شود که کیفیتی مشابه فاضلاب خانگی دارد. مثلاً، کمیت و کیفیت فاضلاب تولیدی از مصارف مختلف آب در صنایع شیمیایی در جدول ۱ درج شده است (۵، ۶). آلاینده‌های فاضلاب صنعتی در سیزده گروه به قرار زیر

جدول ۱. کمیت و کیفیت فاضلاب تولیدی در صنایع شیمیایی (۴)

نوع مصرف آب	کمیت فاضلاب تولیدی	میزان آلودگی فاضلاب تولیدی
بخش اداری	کم	پایین
واکنشگر	کم	بالا
حلال	کم	بالا
شستشو و پاک‌سازی	متوسط	متوسط
خنک‌سازی	زیاد	پایین
دیگ بخار	زیاد	پایین

مدیریت جامع فاضلاب صنعتی

مدیریت جامع فاضلاب صنعتی از چهار جزء تشکیل می‌شود که عبارت‌اند از: ۱. کمینه‌سازی میزان جریان و درجه آلودگی فاضلاب؛ ۲. جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب؛ ۳. بازیابی و بازمصرف پساب؛ و ۴. دفع پساب. در مدیریت جامع فاضلاب صنعتی، پیشگیری از آلودگی (P2) (Pollution Prevention: P2) یا کمینه‌سازی میزان جریان و درجه آلودگی فاضلاب در اولویت قرار دارد. راهکارهای کمینه‌سازی میزان جریان و درجه آلودگی فاضلاب در چهار دسته به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند (۷، ۹):

الف) مدیریت مواد و بهبود روش‌های بهره‌برداری شامل: ۱. ثبت و ردیابی کلیه مواد خام؛ ۲. خرید مواد اولیه سمی و خطرناک به مقدار کم؛ ۳. آموزش پرسنل و استفاده از آرای سودمند آنها؛ و ۴. بهبود شیوه‌های دریافت، انبار و مدیریت مواد.

ب) اصلاح و کارآمد کردن تجهیزات شامل: ۱. نصب تجهیزاتی که فاضلاب تولید نمی‌کنند یا فاضلاب تولیدی آنها کمتر است؛ ۲. اصلاح تجهیزات برای بهبود شیوه‌های بازیابی و بازیافت؛ ۳. طراحی مجدد تجهیزات و خط تولید به منظور کاهش تولید فاضلاب؛ ۴. افزایش بازده عملیاتی تجهیزات؛ و ۵. تدوین و اجرای سختگیرانه برنامه‌های نگهداری.

جدول ۲. منابع تولید و مشخصه‌های کیفی فاضلاب تولیدی در برخی صنایع (۷، ۵، ۸، ۹)

صنعت	منابع تولید فاضلاب	خصوصیات کیفی (آلاینده‌های) فاضلاب
نساجی	پردازش الیاف و آهارزنی پارچه	pH قلیایی، رنگ، دمای بالا، BOD، TSS
چرم‌سازی	موزدایی، چربی‌زدایی و شستشوی پوست	سختی، شوری، سولفید، کروم، pH قلیایی، TDS، BOD، TSS
کمپوت‌سازی	شستشو، جداسازی زایدات و آب‌گیری میوه‌ها	BOD، TSS
تولید فرآورده‌های لبنی	آب پنیر، دوغاب، شیر رقیق شده، شستشوی ظروف و سالن تولید	BOD (عمدتاً لاکتوز، پروتئین و چربی)
تولید فرآورده‌های گوشتی	محل نگهداری دام و طیور، عمل ذبح، جداسازی چربی و استخوان و شستشو	TSS، رنگ، BOD (عمدتاً خون، پروتئین و چربی)
تولید شکر	شستشو، جداسازی زایدات و عصاره‌گیری چغندر قند	BOD، TSS
داروسازی	کشت‌های میکروبی تولیدکننده دارو، محلول‌های مصرف شده	BOD، TSS
تولید نوشابه	شستشوی بطری‌ها، سالن تولید و تجهیزات، زهکش تانک ذخیره شربت	pH قلیایی، BOD، TSS
چاپ و نشر	پردازش، پالایش و شستشوی الیاف و آب‌گیری خمیر کاغذ	pH اسیدی و یا قلیایی، رنگ، TSS
فولاد	کک‌سازی، دستگاه‌های کنترل آلودگی هوا (اسکرابر)	pH اسیدی، سیانوژن، فنول، کک، روغن، TSS، سنگ آهن
آبکاری	زدایش اکسید و تمیزکاری فلزات	pH اسیدی، فلزات
پالایشگاه نفت و میدان‌های نفتی	حفاری، پالایش نفت	TDS، شوری، BOD، بو، فنل، ترکیبات گوگردی
پتروشیمی	فرآیند تولید، ریخت‌وپاش محصولات در سالن تولید	TDS، COD، فلزات، نسبت BOD/COD پایین
تولید سیمان	خنک‌سازی، دستگاه‌های کنترل آلودگی هوا (اسکرابر)، شستشوی دیواره‌ها و کف سالن تولید	دمای بالا، TSS، TDS
تولید مواد شوینده و صابون	شستشو و خالص‌سازی مواد شوینده و صابون	BOD، سورفاکتانت
تولید آفت‌کش	شستشو و خالص‌سازی محصولات	سمیت، COD، نسبت BOD/COD پایین، pH اسیدی
تولید کود شیمیایی	خنک‌سازی، شستشوی محصولات، پساب دیگ بخار، ریخت‌وپاش محصولات در سالن تولید	TSS، اسیدهای معدنی مانند اسید سولفوریک و اسید نیتریک، مواد معدنی از جمله فسفر، نیتروژن (نیترات و نیتروژن آمونیاکی)، گوگرد، پتاسیم، آلومینیم، فلوتور
نیروگاه‌های حرارتی	خنک‌سازی، پساب دیگ بخار، دستگاه‌های کنترل آلودگی هوا (اسکرابر)، شستشو و پالایش زغال‌سنگ	دمای بالا، TDS، TSS، ترکیبات گوگردی

واژه‌های محوری

Environmental Encyclopedia

تصفیه فاضلاب متمرکز (اجتماع یا صنعتی)؛ و ۲. تصفیه اختصاصی فاضلاب در محل. به‌عنوان اولویت اول در مدیریت فاضلاب صنعتی، می‌توان آن را به شبکه جمع‌آوری فاضلاب اجتماع تخلیه کرد تا در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری تصفیه شود. در این حالت باید در زمان طراحی شبکه جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب اجتماع، کمیت و کیفیت فاضلاب صنعتی را به فاضلاب خانگی افزود. معمولاً، کمیت و کیفیت فاضلاب صنعتی به‌صورت جمعیت معادل (PE) (Population Equivalent: PE) به جمعیت طراحی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری اضافه می‌شود. جمعیت معادل، بنا به تعریف، عبارت است از (۷، ۱۰):

ج) اصلاح فرآیند تولید شامل: ۱. جایگزین کردن مواد اولیه سمی با مواد غیرسمی؛ ۲. جداسازی انواع پسماند و زایدات در محل تولید، به‌منظور بازیافت؛ ۳. حذف منابع نشت و ریخت‌وپاش؛ ۴. جداسازی فاضلاب‌های خطرناک و غیرخطرناک از یکدیگر؛ ۵. تغییر ترکیب محصول در جهت کاهش سمیت آن؛ و ۶. بهینه‌سازی فرآیندها و مصرف مواد خام. د) بازچرخش آب شامل طراحی و نصب سیستم‌های مدار بسته. به‌طور کلی، برای جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب صنعتی دو گزینه قابل دسترس است: ۱. تخلیه به شبکه جمع‌آوری و

هرچند در مدیریت جامع فاضلاب صنعتی، تخلیه به سیستم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب متمرکز ارجحیت دارد، اما این گزینه همواره مهیا نیست و بسیاری از صنایع به تصفیه اختصاصی فاضلاب در محل روی می‌آورند. روش‌های تصفیه فاضلاب در سه دسته عملیات فیزیکی (Physical operations) (نظیر آشغال‌گیری، اختلاط، ته‌نشینی، انتقال گاز، صافش و...)، فرآیندهای شیمیایی (Chemical processes) (چون گندزدایی، اکسایش، ترسیب شیمیایی و...)، و فرآیندهای زیستی (Biological processes) (مانند لجن فعال، صافی چکنده، برکه تثبیت و...) طبقه‌بندی می‌شوند. به واحدهای تصفیه که در آنها از عملیات فیزیکی برای جداسازی آلاینده‌ها از فاضلاب استفاده می‌شود، واحد عملیاتی (Unit operation) و به واحدهایی که در آنها از فرآیندهای شیمیایی و یا زیستی برای حذف آلاینده‌های فاضلاب بهره می‌گیرند، واحد فرآیندی (Unit process) می‌گویند. برای طراحی و احداث یک تصفیه‌خانه فاضلاب باید ترکیبی از روش‌های تصفیه (نه همه آنها) را اختیار کرد. انتخاب روش‌های تصفیه فاضلاب به خصوصیات کیفی فاضلاب (آلاینده‌های موجود در فاضلاب و غلظت آنها)، کیفیت مورد نیاز خروجی (علاوه‌بر استانداردهای تخلیه پساب جاری، باید مقررات سختگیرانه آتی نیز مراعات و اعمال شوند) و هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری روش‌های تصفیه و میزان فضای موجود برای احداث تصفیه‌خانه بستگی دارد (۱، ۵).

براساس درجه یا میزان تصفیه، تصفیه فاضلاب در چهار سطح طبقه‌بندی می‌شود: تصفیه مقدماتی (Preliminary treatment)، تصفیه اولیه (Primary treatment)، تصفیه ثانویه (Secondary treatment) و تصفیه پیشرفته (ثالثیه) (Advanced (or tertiary) treatment). از تصفیه مقدماتی تا پیشرفته، به ترتیب، میزان تصفیه افزایش و کیفیت پساب بهبود می‌یابد. نموداری کلی از یک تصفیه‌خانه فاضلاب

$$PE = \frac{Q \times BOD}{X} \quad (۱)$$

که در آن

Q، دبی فاضلاب صنعتی (m³/d)

BOD، خواست اکسیژن زیست‌شیمیایی یا فاز (mg/L)

X، سرانه BOD (فاز) فاضلاب خانگی (در ایران، در هر روز به‌ازای هر نفر ۴۵ تا ۶۰ گرم).

سیستم فاضلاب شهری (شبکه جمع‌آوری و تصفیه‌خانه) براساس کیفیت فاضلاب خانگی طراحی می‌شود و توانایی پذیرش هر نوع فاضلابی را ندارد؛ ازاین رو استانداردهایی برای تخلیه فاضلاب صنعتی به سیستم فاضلاب شهری وضع شده و اغلب فاضلاب‌های صنعتی برای دستیابی به این استانداردها باید به‌صورت جزئی (و نه کامل) تصفیه شوند. پارامترهای BOD و TSS از متداول‌ترین مشخصه‌های کیفی فاضلاب صنعتی به‌شمار می‌آیند. بنابراین استاندارد تخلیه به سیستم فاضلاب شهری حد مجازی را برای این پارامترها (مثلاً BOD=mg/L و TSS=mg/L) ارائه می‌دهد. استانداردهای تخلیه به سیستم فاضلاب شهری به این پارامترها محدود نمی‌شود، زیرا برخی فاضلاب‌های صنعتی به آلاینده‌های بسیار خطرناک‌تری آغشته‌اند که باید غلظت آنها قبل از تخلیه به سیستم فاضلاب شهری تا حد مجاز کاهش یابد. به کلیه مراحل تصفیه فاضلاب صنعتی قبل از تخلیه به سیستم فاضلاب شهری پیش‌تصفیه (Pretreatment) گفته می‌شود. در تأسیسات صنعتی مراحل پیش‌تصفیه بسته به کیفیت فاضلاب تولید شده متفاوت فوق می‌کند. ازجمله مزایای تخلیه فاضلاب صنعتی به سیستم فاضلاب شهری (یا سیستم متمرکز فاضلاب صنعتی) می‌توان به افزایش بازده تصفیه و حفاظت از محیط زیست و بهداشت عمومی، کاهش نیاز به پرسنل بهره‌بردار، کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری و تسهیل پایش و کنترل عملکرد سیستم‌های مدیریت فاضلاب اشاره کرد (۷، ۵).

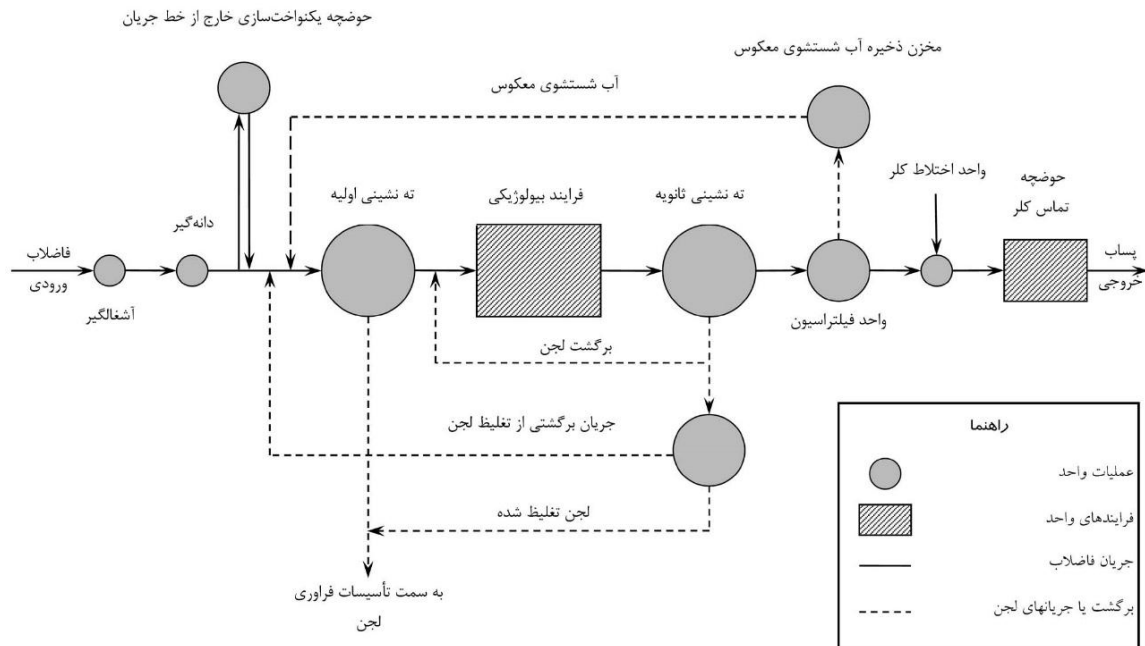
متداول را در شکل ۲ مشاهده می‌کنید. در تصفیه مقدماتی اشیای بزرگ مانند برگ درختان، خرده شیشه، پوست تخم مرغ، شن و ماسه و موادی از این دست، از فاضلاب حذف می‌شوند و یکنواخت‌سازی صورت می‌گیرد. جامدات درشت را آشغال‌گیر می‌گیرد و شیشه، پوست تخم مرغ، شن و ماسه و مانند آنها در دانه‌گیر جداسازی می‌شوند. این مواد در صورت حذف نشدن و ورود به واحدهای بعدی تصفیه‌خانه، مشکلات بهره‌برداری و نگهداری پدید می‌آورند (مثلاً ایجاد ساییدگی در تلمبه‌ها و سایر تجهیزات مکانیکی، ایجاد گرفتگی در شبکه لوله‌کشی و...). واحد یکنواخت‌سازی نوسانات ساعتی دبی (بده) و غلظت آلاینده‌ها را از میان برمی‌دارد. با توجه به نوسانات شدید کمیت و کیفیت فاضلاب صنعتی، یکنواخت‌سازی جزء ضروری تصفیه فاضلاب صنعتی است و عمدتاً از آن بهره‌مندی می‌گیرند (۱، ۱۱).

هدف از تصفیه اولیه، آماده‌سازی فاضلاب برای ورود به واحدهای تصفیه زیستی است. در صورت لزوم، واحد خنثی‌سازی پس از حوضچه یکنواخت‌سازی قرار می‌گیرد، زیرا در واحد یکنواخت‌سازی اختلاط جریان‌های فاضلاب با pHهای متفاوت تا حدودی به خنثی‌سازی منجر می‌شود. روغن و چربی و جامدات معلق از طریق روش‌های شناورسازی و ته‌نشینی جداسازی می‌شوند. در تصفیه اولیه، بسته به کیفیت فاضلاب ممکن است حذف مواد آلی سمی و فلزات سنگین (و هر آلاینده دیگری که موجب اختلال در تصفیه زیستی می‌شود) نیز پی گرفته شود (۱، ۷).

تصفیه ثانویه شامل تجزیه و حذف زیستی مواد آلی محلول، حذف نیتروژن و فسفر و گندزدایی است. در فرایندهای تصفیه زیستی هوازی، غلظت BOD از محدوده ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ mg/L به غلظتی حدود ۱۵mg/L کاهش می‌یابد. در مواردی که غلظت مواد آلی در فاضلاب ورودی بالا است ($BOD > 1000 \text{ mg/L}$) باید از یک مرحله تصفیه

زیستی بیهوازی به‌عنوان پیش‌تصفیه بهره گرفته شود تا غلظت مواد آلی برای ورود به فرایندهای هوازی به مقدار کافی کاهش یابد. معمولاً برای حذف مواد مغذی از فرایندهای زیستی سود می‌جویند. نیتروژن از طریق فرایندهای نترات‌سازی - نترات‌زدایی به گاز نیتروژن تبدیل می‌شود. فرایندهای نترات‌سازی و نترات‌زدایی، به ترتیب، نیازمند شرایط هوازی (حضور O_2) و بی‌اکسیژنی (عدم حضور O_2 و حضور ترکیبات اکسید شده مانند NO_3^- ، SO_4^{2-}) هستند. حذف زیستی فسفر نیز نیازمند شرایط بیهوازی (عدم حضور O_2 و ترکیبات اکسید شده) - هوازی است. پس از تصفیه زیستی، ریزاندامگان‌ها و سایر مواد جامد به صورت لجن ته‌نشین و از پساب جداسازی می‌شوند. در برخی روش‌های تصفیه زیستی، از جمله فرآیند لجن فعال بخشی از لجن یاد شده برای سرعت بخشیدن به فرآیند تصفیه به واحد تصفیه زیستی برگشت داده و بخش دیگر به صورت لجن مازاد از سیستم خارج و تصفیه و دفع می‌شود (۱).

در مواردی، تصفیه ثانویه برای دستیابی به استانداردهای تخلیه پساب کافی است و نیازی به تصفیه پیشرفته نیست؛ اما در مواردی که پساب ثانویه در حد استانداردهای تخلیه پساب نیست، باید از روش‌های تصفیه پیشرفته استفاده نمود. اهداف تصفیه پیشرفته عبارت‌اند از: ۱. حذف جامدات معلق و کلوئیدی و کدورت پساب؛ و ۲. حذف مواد آلی غیر قابل تجزیه بیولوژیکی. برای حذف جامدات معلق و کلوئیدی معمولاً از روش‌های صافش استفاده می‌شود. مواد آلی خروجی از تصفیه زیستی، که عموماً غیر قابل تجزیه زیستی‌اند، از طریق فرایندهای جذب سطحی به کمک کربن فعال و اکسایش شیمیایی به‌وسیله ازن، هیدروژن پراکسید و... حذف می‌شوند. روش‌های تصفیه پیشرفته عموماً گران و پرهزینه‌اند، یکی دیگر از معایب این روش‌ها عملکرد غیراختصاصی آنها در حذف



شکل ۲. جریان نموداری یک تصفیه‌خانه فاضلاب متداول

- 4- Ranade, V.V., & Bhandari, V.M. *Industrial wastewater: Treatment, recycling, and reuse*. (2014). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- 5- Nemerow, N.L. (2006). *Industrial waste treatment* (4th ed.). New York: Elsevier Science & Technology Books.
- 6- Roberts Alley, E. (2007). *Water quality control handbook* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.
- 7- Eckenfelder, W.W., Jr. (2009). *Industrial water quality* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.
- 8- Wang, L.K., et al. (2004). *Handbook of industrial and hazardous waste treatment*. New York: Marcel Dekker.
- 9- WEF. (2008). *Industrial wastewater management, treatment, and disposal* (3rd ed.). Alexandria: Water Environment Federation.
- 10- Woodard, F. (2001). *Industrial waste treatment handbook*. Boston: Butterworth-Heinemann.
- 11- Wun Jern, N.G. (2006). *Industrial wastewater treatment*. London: Imperial College Press.

دکتر رضا سعیدی

عضو هیات علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

آلاینده‌ها است (۱، ۷).

امروزه در بسیاری از کشورهای دنیا باز مصرف پساب در برنامه‌های مدیریت منابع آب جایگاه ویژه‌ای یافته و سهم چشمگیری در تأمین آب در بخش‌های مختلف دارد. پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی را می‌توان با رعایت استانداردهای مربوطه در مصارف صنعتی (خنک‌سازی، دیگ بخار و...)، آبیاری (کشاورزی و آبیاری فضای سبز) و آبی‌زی‌پروری به‌کار برد. در مواردی که به مصرف پساب نیاز نیست، پساب به آب‌های زیرزمینی و یا سطحی (با رعایت استانداردهای مربوطه) تخلیه می‌شود (۱، ۷).

کتاب‌شناسی

- 1- Metcalf & Eddy, Inc. (2013). *Wastewater engineering: treatment and resource recovery* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- 2- Madani, K. (2014). Water management in Iran: What is causing the looming crisis? *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4(4), 315-328.
- 3- WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). *Water- Facts and Trends*. (2006). Geneva: WBCSD.