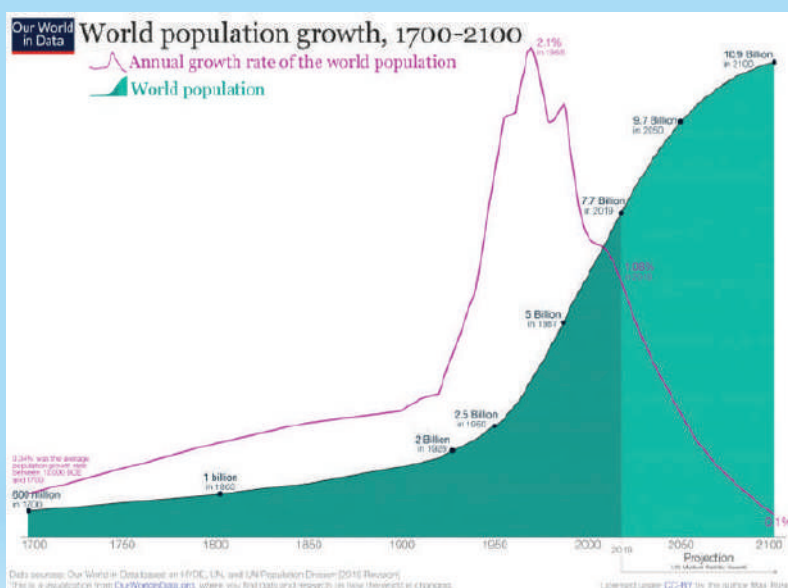


تصفیه پساب

آب همیشه نقشی کلیدی در جوامع بشری داشته است و از هزاران سال قبل نیز دیده‌ایم که تمدن‌های بزرگ بشری در کنار رودخانه‌ها و جلگه‌ها تشکیل شده‌اند و کشورهایی که دارای خط ساحلی بزرگی بودند، به عنوان کشورهای قدرتمند، مطرح بودند. بنابراین می‌توان گفت که بدون آب، حیاتی وجود ندارد و جمله «آب مایه حیات است»، معنا پیدا می‌کند. بنابراین باید در جهت حفظ منابع آبی، حداکثر تلاش خود را کنیم اما متأسفانه عوامل بسیاری وجود دارند که منابع آبی را به شدت کاهش می‌دهند؛ به طور مثال، تغییرات شدید آب و هوایی، آلودگی‌های نفتی و رادیواکتیوی آب‌ها و خشکسالی‌های پی‌درپی و در نهایت افزایش تقاضا با توجه به افزایش جمعیت. طبق آمار پیش‌بینی می‌شود که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۷ میلیارد نفر برسد و این موضوع چالش‌های بسیاری را در زمینه‌های محیط زیست، غذا، بهداشت و به ویژه **منابع آبی** به همراه خواهد داشت. با توجه به کاهش منابع آب شیرین در دهه‌های پیش‌رو، بازیافت و تصفیه آب، یکی از روش‌های جایگزین برای به دست آوردن آب شیرین‌اند. بدین ترتیب، باید به دنبال روش‌های ارزان، مناسب و متداوم برای تصفیه پساب، استفاده مجدد آب و یا صرفه جویی در آب بود. این روش‌ها باید علاوه بر داشتن بازدهی کافی، مورد تأیید سازمان بهداشت جهانی و دیگر سازمان‌های کنترل‌کننده باشند و در جهت تجاری‌سازی آن‌ها باید کشورها حداکثر توان خود را به کار گیرند.



نمودار افزایش جمعیت جهان تا سال ۲۱۰۰ میلادی



در ادامه، روش‌های درجه اول و دوم و سوم تصفیه پساب را مورد بحث قرار می‌دهیم و پس از بررسی مکانیزم و مزایای آنها، آن‌ها را با هم مقایسه می‌کنیم.

پساب

به طور ساده، پساب آبی است که در پروسه‌ای تجاری یا خانگی آلوده شده که شامل موارد زیر می‌شود:

۱. آبی که در شست‌وشو و در سرویس‌های بهداشتی استفاده می‌شود.

۲. آبی که فرآورده جانبی صنایع بزرگی مانند تولیدی‌ها و معادن است.

با اینکه پساب مشکل عظیمی در سرتاسر جهان است، کشورهای در حال توسعه، از مناطقی‌اند که بیشتر تحت تاثیر آن هستند و یکی از عوامل افزایش پساب در این مناطق، عدم مدیریت صحیح در مصرف آب و الگوی غلط در مصرف آب است و عدم توانایی در تصفیه پساب، بر افزایش پساب، دامن می‌زند.

تصفیه پساب

فرآیندی‌ست که پساب را از حالت غیرقابل استفاده، به حالتی می‌رساند که بتوان آن را با تاثیرات حداقلی محیطی به چرخه آب برگرداند یا برای اهداف دیگر استفاده کرد. تصفیه پساب، به عنوان یک عامل مهم در بازگردانی آب به چرخه مصرف دارد و باید مورد توجه دولت‌های دنیا قرار گیرد و در دستورکار آن‌ها قرار گیرد.

اهمیت تصفیه پساب

آب پاک، یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی در زمین است. پساب، که در واقع آب مصرف شده است، یک منبع با ارزش محسوب می‌شود؛ به ویژه به دلیل وجود خشکسالی و کمبود آب در بسیاری از کشورها و مناطق جهان.

هرچند پساب مواد مضر زیادی دارد و بدون تصفیه نمی‌توان به محیط زیست بازگرداند.

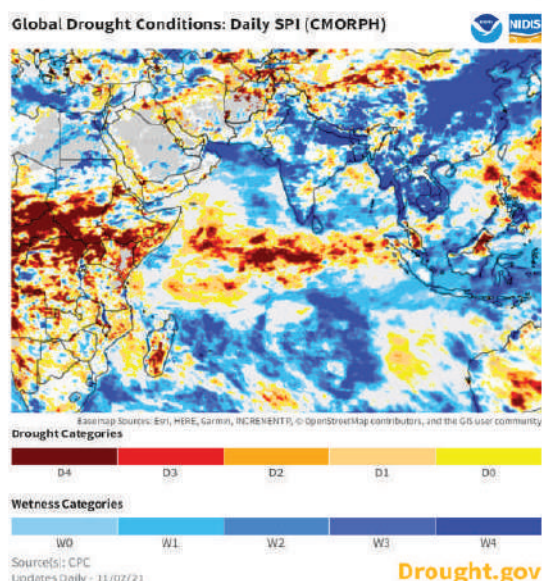
اهمیت تصفیه آب، بر دو اصل است:

۱. احیای منبع آب

۲. محافظت از زمین در برابر مواد سمی

احیای منابع آب

ابتدا به شکل زیر که پراکندگی خشکسالی را در سال ۲۰۱۲ میلادی نشان می‌دهد، توجه کنید.



پراکندگی خشکسالی کره زمین در سال ۲۰۱۲ میلادی

با توجه به شکل فوق، بسیاری از مناطق جهان آب کافی ندارند. همه جوامع، مخصوصاً آن‌هایی که با کمبود آب مواجه‌اند، باید از فرآیندهای مناسبی برای تصفیه پساب استفاده کنند تا بتوانند تصفیه پساب را به خوبی در دستورکار قرار دهند و حداقل‌ترین هدررفت آب را داشته باشند.

حفظ کره زمین

پساب می‌تواند منشأ آلودگی‌های صنعتی و خانگی داشته باشد. پساب‌ها اگر تصفیه نشوند، شامل مواد شیمیایی و عوامل بیماری‌زایی هستند که می‌توانند به سلامت حیوانات، گیاهان و پرندگانی که در آب یا نزدیک آن زندگی میکنند، آسیب بزنند. همچنین می‌توانند محصولات زراعی و آب آشامیدنی را آلوده کند و بر سلامت انسان تأثیر بگذارد. تصفیه آب، برای حفظ سلامت بسیاری از بوم سازگان‌ها (کوسیستم‌ها) نیازمند است.

پساب اگر به درستی تصفیه شود، می‌تواند کاربردهای بسیاری در زندگی انسان‌ها داشته باشد. تصفیه پساب باعث می‌شود که بیشترین میزان ممکن آب، به جای این که هدر رود، باز مصرف شود.

حال به بررسی فناوری‌های (تکنولوژی‌های) درجه اول و دوم تصفیه آب می‌پردازیم.

الف: فناوری‌های درجه یک تصفیه پساب

در این دسته، آب با تکنیک‌های زیر تصفیه مجدد می‌شود:

۱. صافی کردن (فیلتراسیون)

۲. گریزانیدن (سانتریفیوژن)

۳. رسوب‌سازی

۴. شناورسازی

*معمولاً زمانی از این روش‌ها استفاده می‌شود که آب خیلی آلوده باشد.

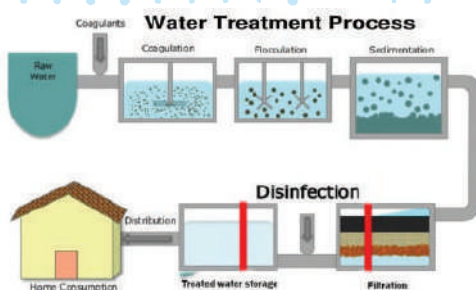
ب: فناوری‌های درجه ۲ تصفیه پساب

تصفیه پساب درجه دو، شامل روش‌هایی برای جداسازی آلاینده‌های محلول و غیرمحلول با استفاده از میکروب است. آب در یک راکتور که غلظت بالایی از میکروب‌ها را دارا است، به گردش درمی‌آید. میکروب‌ها معمولاً رشته‌های باکتری یا قارچ هستند، که مواد آلی را به آب، کربن‌دی‌اکسید و گاز آمونیاک تبدیل می‌کنند. گاهی اوقات، مواد آلی به دیگر محصولات مانند الکل، گلوکز و... نیز تبدیل می‌شوند. همچنین، میکروب‌ها مواد سمی غیرآلی را نیز سم‌زدایی می‌کنند.

پ: فناوری‌های درجه ۳ تصفیه مجدد آب

فناوری‌های درجه سوم تصفیه پساب، نقش مهمی در تصفیه مجدد آب دارند؛ زیرا برای تولید آب سالم برای مصرف انسان استفاده می‌شوند.

در این بخش، درباره فناوری‌های درجه یک (رسوب‌سازی، شناورسازی هوای محلول و انعقاد آب) و درجه دو (پروسه هوازی و بی‌هوازی) خواهیم پرداخت.



نمای کلی فرایند تصفیه پساب

رسوب‌سازی

رسوب‌سازی، یکی از روش‌های مرسوم تصفیه پساب است. فرآیندی است که طی آن جامداتی که در آب، شناور یا ته‌نشین هستند، از آب جدا می‌شوند. این فرآیند با مخزن‌های رسوب‌سازی که جامدات بزرگ‌تر را جدا می‌کنند، صورت می‌گیرد. ممکن است پس از رسوب‌سازی از دیگر فرآیندهای تصفیه آب استفاده می‌شود.

رسوب‌سازی یکی از روش‌هایی است که دولت‌ها برای تصفیه پساب از آن استفاده می‌کنند. یک فرآیند فیزیکی، برای تصفیه مجدد آب است و برای جداسازی جامدات معلق در آب، از جاذب استفاده می‌شود. اثربخشی این فرآیند، به اندازه و وزن ذرات بستگی دارد. جامداتی که چگالی مشابه آب دارند، در آب معلق می‌مانند و جامداتی که سنگین‌تر هستند، ته‌نشین می‌شوند. فرآیند رسوب‌سازی برای تصفیه پساب در مخزن‌هایی با شکل‌های مختلف صورت می‌گیرد.

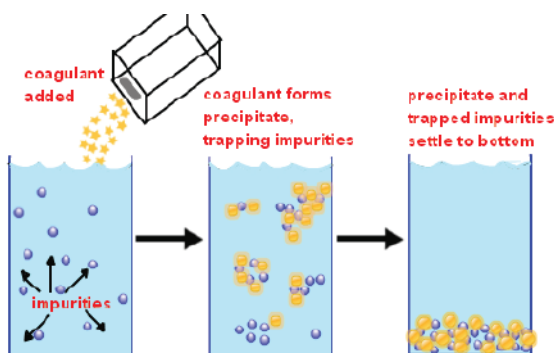
مخزن‌های رسوب‌سازی، ذرات را از آب جدا می‌کنند. جامدات و لجن جمع‌آوری شده، در انتهای مخزن شکل می‌گیرند و در فواصل معین، جمع‌آوری می‌شوند. معمولاً برای کمک به فرآیند ته‌نشین شدن، به آب منعقدکننده (موادی برای افزایش سایز محلول که آن‌ها را به قدری بزرگ می‌کند که رسوب کنند) اضافه می‌کنند.

وقتی تصفیه پساب با رسوب‌سازی صورت می‌گیرد، معمولاً با یک تصفیه ثانویه ادامه می‌یابد؛ مانند استفاده از صافی یا لجن فعال یا یک فرآیند تصفیه مجدد دیگر که با استفاده از باکتری، ناخالصی‌های محلول را از بین می‌برد.

مزایای استفاده از رسوب‌سازی

رسوب‌سازی یکی از ساده‌ترین فرآیندهای تصفیه پساب است که در سراسر جهان، استفاده می‌شود. ممکن است از این روش به عنوان یک مرحله مقدماتی در فرآیند تصفیه پساب استفاده شود. برای دولت‌هایی که از آن استفاده می‌کنند، این شیوه دارای مزایای زیر است:

۱. برای تصفیه ثانویه، مواد شیمیایی کم‌تری لازم است.
۲. هزینه آن از برخی متدهای دیگر کمتر است.



رسوب‌زایی با استفاده از نوعی منعقدکننده شیمیایی

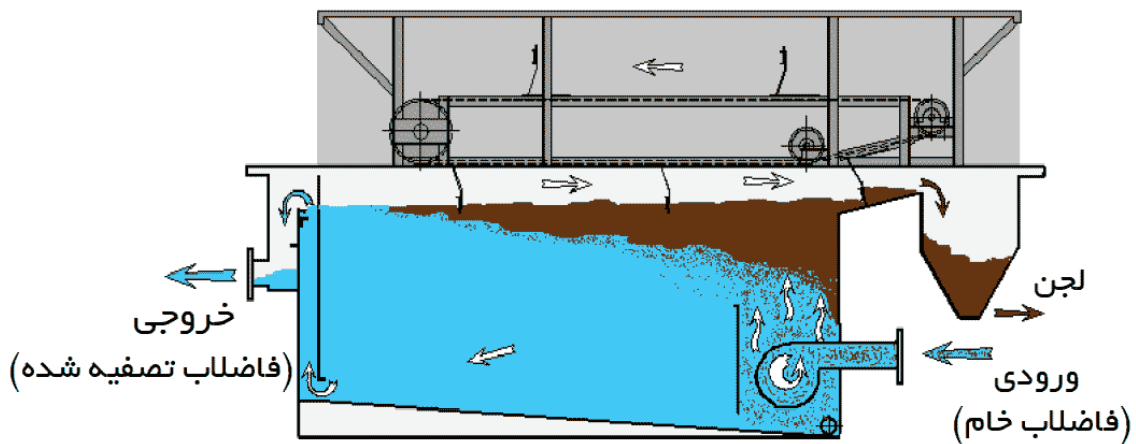
سیستم شناورسازی هوای محلول (DAF)

یکی از پر استفاده‌ترین فرایندها در تصفیه پساب، سیستم‌های شناورسازی هوای محلول است. از آنجا که می‌توان در تصفیه مجدد، نمک‌زدایی و بازیافت آب از آن بهره برد، از چند منظوره‌ترین فرایندها به شمار می‌آید. این سامانه (سیستم) در جداسازی جامدات، روغن‌ها و چربی‌ها بازده بالایی دارند و بیش از ۹۰ درصد آن‌ها را جدا می‌کنند. سیستم شناورسازی هوای محلول جامدات، روغن‌ها و چربی‌های موجود در آب را جدا کرده و لجنی غلیظ تولید می‌کند و پساب را در مقیاس صنعتی و شهری پاک‌سازی کند.

این سیستم‌ها به طور اختصاصی برای تصفیه مجدد آبی طراحی شده‌اند که جامدات درون آن، نیاز به یک سطح بزرگ برای شناورسازی و جداسازی دارند.

مزایای استفاده از سیستم شناورسازی هوای محلول

۱. کیفیت بالای آب تصفیه شده
۲. لجن غلیظ‌تر که باعث کاهش تولید لجن، راحت‌تر شدن مدیریت آن و کمتر شدن هزینه می‌شود
۳. کنترل آسان



نمای کلی فرایند تصفیه پساب با استفاده از روش شناورسازی هوای محلول

انعقاد

یک فرآیند تصفیه شیمیایی آب است که برای حذف مواد جامد از آب با ایجاد تغییرات بارهای برق حرکتی (الکترواستاتیک) ذرات معلق در آب استفاده می‌شود. این فرآیند مولکول‌های کوچک با بار زیاد را وارد آب می‌کند تا بارهای ذرات، کلوئیدها یا مواد روغنی موجود در سوسپانسیون‌ها را بی‌ثبات کند. انتخاب ماده منعقدکننده مناسب برای سامانه، بازدهی کلی سامانه را افزایش می‌دهد و به ویژه بازدهی حذف مواد جامد را با تقویت عملکرد صافی (فیلتر) و شفاف کننده، بهبود می‌بخشد.

تصفیه مجدد پساب کاربردهای زیادی دارد که به واکنش‌های انعقادی نیاز دارد شامل:

۱. حذف جامدات کلوئیدی از آب
۲. سم‌زدایی ذرات روغن («شکستن ذرات چربی»)
۳. جداسازی رنگ

همچنین انواع زیادی از مواد منعقدکننده برای برآورده کردن نیازهای خاص فرآیند تصفیه مجدد نیز وجود دارد.

به طور کلی، در فرآیند تصفیه مجدد شیمیایی آب، انعقاد بر لخته شدن مقدم است.

ذرات موجود در آب، بار برق حرکتی (الکترواستاتیک) بر روی خود حمل می‌کنند که نمونه‌های رایج آن مانند خاک رس، سیلیس، آهن، رنگ‌ها و حتی روغن است.

این ذرات معلق کوچک در سوسپانسیون، به ثبات می‌رسند و حذف آن به روش‌های مکانیکی دشوار است. یک سوسپانسیون جامدات در آب، به طور معمول شامل اندازه‌های متنوع از ذرات است. تحلیل آزمایشگاهی از «توزیع اندازه ذرات» به تعیین اندازه ذرات و همچنین مقدار نسبی اندازه هر ذره در سوسپانسیون کمک می‌کند.

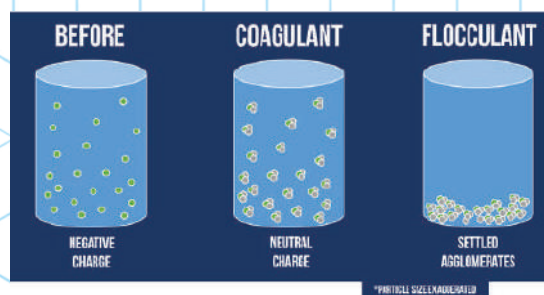
۱. ذرات بزرگتر از ۱۰۰ میکرومتر «جامدات حل شدنی» در نظر گرفته می‌شوند و به آسانی از حالت سوسپانسیون خارج می‌شوند.

۲. ذرات بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکرومتر به طور معمول «حالت کدر» در نظر گرفته می‌شود و اغلب در سامانه تصفیه مجدد پساب با انعقاد مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳. ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرومتر، «ذرات کلوئیدی» هستند که به تقریب همواره با انعقاد، تصفیه مجدد می‌شوند؛ زیرا حذف ذرات کوچک فقط با استفاده از تصفیه مجدد مکانیکی آب مانند صافی کردن (فیلتراسیون) بسیار گران است.

قطر ذره	نوع ذره	زمان حل شدن در ۱ متر آب	
۱۰ mm	شن و سنگ ریزه	۱ ثانیه	جامدات حل شدنی
۱ mm	رنگ	۱۰ ثانیه	
۱۰۰ μm	ماسه مناسب	۳ دقیقه	کدر و تیره
۱۰ μm	گرد و غبار	۲ ساعت	
۱ μm	خاک رس	۸ روز	جامدات کلوئیدی
۰/۱ μm	کلوئیدها	۲ سال	

دسته بندی ذرات



فرآیند انعقاد

پایداری ذرات در سوسپانسیون پتانسیل زتا (mV)	
انعقاد یا لخته شدن سریع	۰ تا ± 5
ناپایداری آغازین	± 10 تا ± 30
پایداری متوسط	± 30 تا ± 40
پایداری خوب	± 40 تا ± 60

ذرات ناپایدار شروع به کلوئید شدن می‌کنند و اجرام کوچک‌تری می‌سازند که اغلب **Pin flocs** یا **Micro flocs** نامیده می‌شوند؛ زیرا اندازه آنها در حدود ۵۰ میکرومتر است و با چشم غیرمسلح، قابل مشاهده نیست.

«لخته‌شدن» یا «توده‌سازی»، فرآیند تجمع ذرات با یکدیگر برای ساخت توده‌های بزرگ‌تر است. این فرآیند، یک مولکول بزرگ با محل‌های اتصال الکترواستاتیکی را برای جذب ذرات با بار مخالف یا ریزتوده‌ها، مشخص می‌کند. واکنش لخته‌شدن به خودی خود، قابل مشاهده است؛ زیرا توده‌های حاصل، به آسانی از آب جدا می‌شوند.

توجه کنید اصطلاحات «انعقاد» و «لخته‌شدن» اغلب به جای یکدیگر استفاده می‌شوند اما آنها در واقع، فرآیندهای متفاوتی هستند!



فرایند انعقاد و لخته‌شدن در تصفیه آب و پساب

ذرات کلوئیدی بیشتر به عنوان کلوئید **آب دوست** و **آب گریز** دسته‌بندی می‌شوند. طبیعت و ذات «آب گریزی» و یا «آب دوستی» آنها در تصفیه پساب حائز اهمیت است.

کلوئیدهای آب گریز با منعقدکننده‌ها، واکنش شیمیایی نمی‌دهد؛ درحالی که کلوئیدهای آب دوست ممکن است با آنها واکنش شیمیایی دهد. در نتیجه، کلوئیدهای آب دوست، مانند رنگ‌ها نسبت به کلوئیدهای آب گریز نیاز به منعقد کننده بیشتری دارد. بارهای برق حرکتی (الکترواستاتیک) ذرات در آب با گزاره‌ای آشنا در مورد مغناطیس عمل می‌کنند:

«مانندها یکدیگر را دفع می‌کنند و مخالف‌ها یکدیگر را جذب می‌کنند»
اصطلاحاتی که برای توصیف بارها استفاده می‌شود عبارت است از:

۱. کاتیون: که برای بار مثبت (+) استفاده می‌شود.
۲. آنیون: که برای بار منفی (-) استفاده می‌شود.

به دلیل ساختار شیمیایی آب، بیشتر ذرات دارای بار منفی هستند. علاوه بر ذات مثبت یا منفی بودن بارها، قدرت برق حرکتی بار، «پتانسیل زتا» نامیده می‌شود. قدرت بار در تصفیه پساب بسیار مهم است؛ زیرا بارهای قوی‌تر باعث ایجاد سوسپانسیون قوی‌تر و پایدارتر ذرات در آب می‌شود.

پتانسیل زتا در مقیاسی بین -61 تا $+61$ تعیین می‌گردد. در نزدیکی صفر، ذرات به راحتی از حالت سوسپانسیون خارج می‌شوند اما درجایی که بیشتر از صفر باشد، بار منفی یا مثبت قوی‌تری وجود دارد؛ بنابراین سوسپانسیون پایدارتر است و افزایش بیشتر از ± 10 به انعقاد نیاز دارد.



تصفیه مجدد پساب هوازی و بی‌هوازی

الف: تصفیه مجدد پساب هوازی

تصفیه مجدد هوازی پساب، یک فرآیند زیست‌شناسی (بیولوژیکی) است که از اکسیژن برای تجزیه کردن آلودگی‌های آلی و دیگر آلاینده‌ها مانند نیتروژن و فسفر استفاده می‌کند. اکسیژن به طور مداوم، توسط یک دستگاه مکانیکی مانند دمنده هوا یا کمپرسور با پساب، مخلوط می‌شود. سپس میکرواندامواره‌های (ارگانیسم‌های) هوازی از مواد آلی پساب، تغذیه می‌کنند و آن را به دی‌اکسیدکربن و زیست‌توده تبدیل می‌کنند که می‌تواند حذف بشود.

کاربرد تصفیه مجدد پساب هوازی

تصفیه هوازی معمولاً برای صیقل دادن پساب صنعتی که از پیش تصفیه شده است، توسط فرایندهای بی‌هوازی استفاده می‌شود. این امر تضمین می‌کند که پساب به طور کامل تصفیه شده و می‌تواند مطابق با مقررات سخت‌گیرانه زیست‌محیطی، تخلیه شود. فرایندهای تصفیه هوازی برای طیف وسیعی از صنایع مانند مواد غذایی، نوشیدنی، شیمیایی و شهرداری مناسب است.

انواع سامانه‌های تصفیه مجدد پساب هوازی

چندین فناوری مختلف برای تصفیه مجدد هوازی پساب وجود دارد. از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. **لجن فعال معمولی:** مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌های هوازی در یک مخزن هوادهی تجزیه می‌شوند. این کار فلوک‌های زیستی (لجن) را تشکیل می‌دهد که پس از آن، در یک مخزن رسوب، از آب تصفیه مجدد جدا می‌شوند.

۲. **راکتور بیوفیلم بستر متحرک (MBBR):** بیوفیلم بر روی حامل‌های پلاستیکی معلق رشد می‌کند و در یک مخزن هوادهی به گردش در می‌آید. این‌ها توسط الک‌های نگهدارنده، در همان مخزن نگهداری می‌شوند.

۳. **بیوراکتور غشایی (MBR):** فناوری پیشرفته ترکیب فرآیند لجن فعال شده با تصفیه مجدد با استفاده از فناوری‌های غشایی

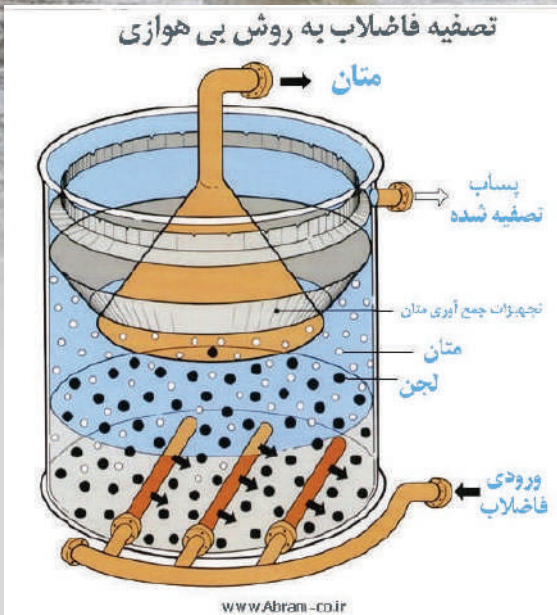
مزایای سامانه‌های تصفیه مجدد پساب هوازی

تصفیه مجدد هوازی پساب فرایندی پایدار، ساده و کارآمد است که پساب ثانویه با کیفیت بالا تولید می‌کند. لجن حاصل بدون بو است و می‌تواند به عنوان یک کود عالی در کشاورزی به فروش برسد.





تصفیه فاضلاب به روش بی‌هوازی



نمای کلی فرآیند تصفیه بی‌هوازی

انواع مختلفی از روش‌ها و فرآیندهای پاک‌سازی و تصفیه آب موجود است که هر یک شامل ویژگی‌های مثبت به خصوصی هست و برای گزینش بهینه‌ترین روش در هر مکان، ارزیابی‌های دقیقی نسبت به این ویژگی‌ها باید صورت گیرد. [۲]

نویسندگان: سپهر مفخمی، رسا سایبانی
برای دسترسی به منابع QR کد را اسکن کنید یا به قسمت منابع مراجعه کنید:



ب: فرآیند بی‌هوازی

تصفیه مجدد بی‌هوازی، معمولاً روی پساب غلیظ‌تر صورت می‌گیرد. لجن این فرآیند، شامل گروه‌های مختلف اندامواره‌هایی (میکروارگانیسم‌هایی) است که نهایتاً مواد آلی را به بیوگاز تبدیل می‌کند. بیوگاز معمولاً ۷۰ درصد متان و ۳۰ درصد کربن‌دی‌اکسید به همراه بخش کمی گازهای دیگر مانند هیدروژن است و متان می‌تواند به عنوان منبع انرژی استفاده شود.

تصفیه مجدد بی‌هوازی، معمولاً روی پساب غلیظ‌تر صورت می‌گیرد. لجن این فرآیند، شامل گروه‌های مختلف میکروارگانیسم‌هایی است که نهایتاً مواد آلی را به بیوگاز تبدیل می‌کند. بیوگاز معمولاً ۷۰ درصد متان و ۳۰ درصد کربن‌دی‌اکسید به همراه بخش کمی گازهای دیگر مانند هیدروژن است و متان می‌تواند به عنوان منبع انرژی استفاده شود.

مزایای استفاده از تصفیه

مجدد بی‌هوازی

۱. تشکیل بیوگاز

آلاینده آلی به بیوگاز تبدیل می‌شود که ارزش انرژی آن بالا است و این اجازه را به ما می‌دهد تا بخشی یا کل انرژی لازم برای فرآیند را تأمین کنیم.

۲. تولید لجن بسیار کم

تولید لجن در پروسه بی‌هوازی ۴ تا ۵ برابر کمتر از فرآیند هوازی است.

