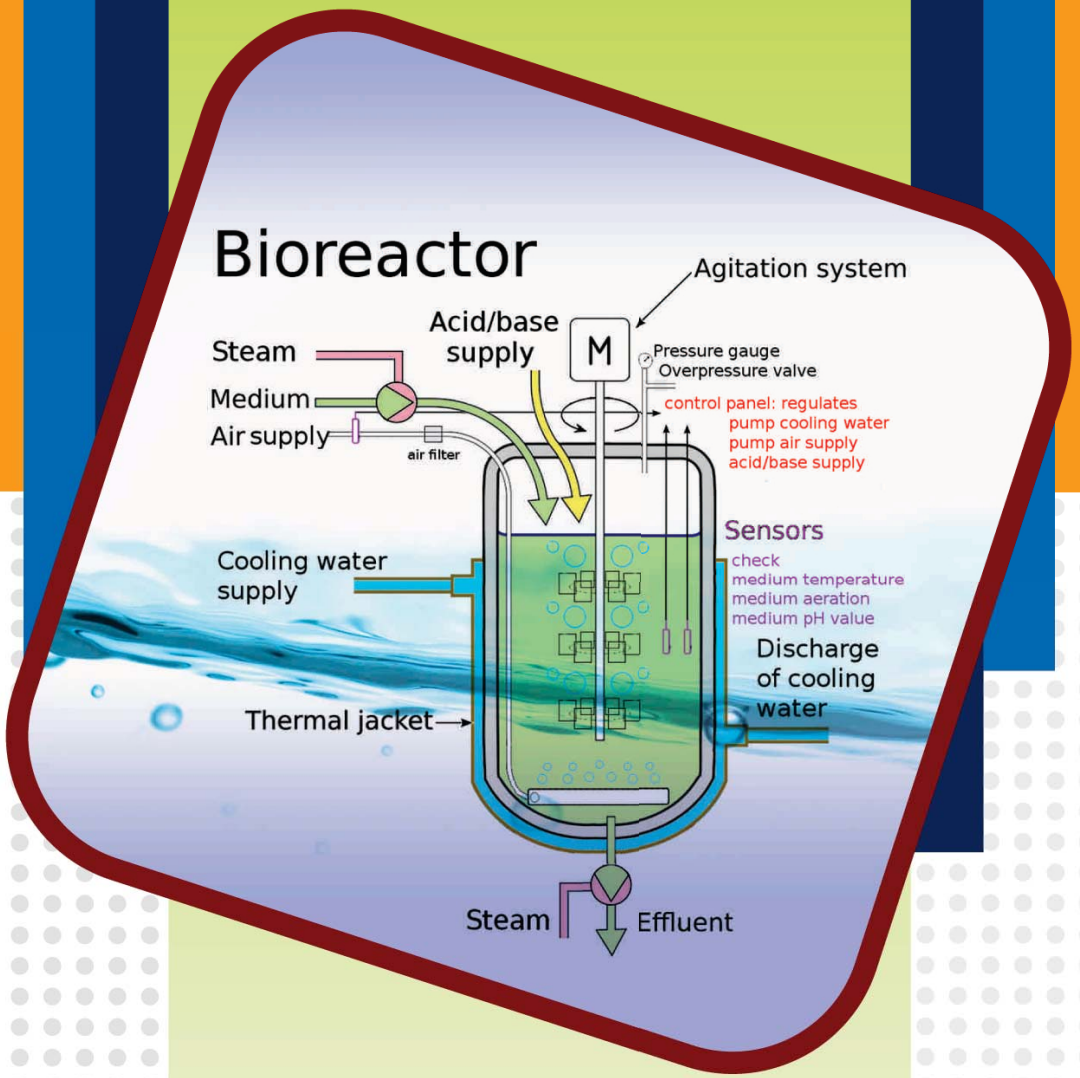
روش‌های تصفیه فاضلاب
(تصفیه بیولوژیکی)



مدیریت

بهداشت، ایمنی ومحیط زیست

به نام خدا

روش‌های تصفیه فاضلاب (تصفیه بیولوژیکی)

۱۳۹۱

تهران: خیابان طالقانی – شماره ۳۷۸ تلفن ۶۶۴۹۱۳۱۱ مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست

عنوان: روش‌های تصفیه فاضلاب (روش‌های بیولوژیکی)

تهیه کننده: مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست شرکت ملی پالایش و پخش

ناشر: انتشارات روابط عمومی شرکت ملی پالایش و پخش

نوبت چاپ: اول – ۱۳۹۱

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

فهرست عناوین

پیشگفتار .....
مقدمه ۱
تصفیه بیولوژیک فاضلاب ۲
فرآیند هوازی ۲
فرآیند بی‌هوازی ۳
فرآیندهای ترکیبی ۳
سیستم هوازی با رشد معلق ۴
سیستم راکتورهای ناپیوسته متوالی ۴
لجن فعال ۵
ساختمان لخته‌های لجن فعال ۷
سیستم فیلتراسیون از بستر لجن با جریان رو به بالا ۸
سیستم هوازی با رشد ثابت ۱۱
سیستم صافی‌های چکنده ۱۲
سیستم تماس‌دهنده‌های بیولوژیکی چرخان ۱۴
سیستم تلفیقی رشد ثابت و لجن فعال (IFAS) ۱۶
سیستم تلفیقی با بستر معلق در حوض هوادهی ۱۹
سیستم تلفیقی با بستر ثابت در حوض هوادهی ۱۹
تصفیه به وسیله فرآیند توده لجن بی‌هوازی بالا رونده ۲۱
نحوه استقرار سیستم UASB در بین واحدهای دیگر تصفیه خانه ۲۲
تصفیه به وسیله فرآیند Contact process ۲۵
منابع ۲۶

پیشگفتار:

محیط‌زیست، جلوه‌ای است از پهن‌دشت بزرگ جهان آفرینش که خداوند سبحان آن را با قدرت شگرف و لایزال خود ساخته و پرداخته است. با توجه به رویارویی بشر امروزی با چالش‌های متعدد زیست‌محیطی از جمله آلودگی منابع آب، خاک، هوا، پدیده گرم شدن زمین، تخریب لایه اوزون و... همچنین مطابق با آموزه‌های دینی و همچنین اصل پنجاهم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، حفاظت از محیط زیست یک وظیفه عمومی تلقی می‌شود؛ به این معنی که کلیه افراد حقیقی و حقوقی موظف به حفظ محیط زیست هستند.

مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HS) شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی در جهت ارتقای فرهنگ محیط زیست اقدام به انتشار مجموعه کتابچه‌های زیست‌محیطی با هدف آموزش مطالب علمی کاربردی و در عین حال ساده و روان در مقوله محیط زیست نموده است.

این مجموعه بی‌شک خالی از اشکالات فنی، نگارشی نیست. لذا مدیریت HSE از خوانندگان گرامی خواهشمند است نقطه نظرات و پیشنهادهای سازنده خود را در راستای غنای مطالب و ترویج فرهنگ عمومی زیست‌محیطی به این مدیریت منعکس نمایند.

پاییز ۱۳۹۰

مقدمه

تصفیه فاضلاب‌ها و حذف مواد مضر محیط زیست از آن‌ها، همواره یکی از دغدغه‌های جوامع بشری بوده است. تصفیه فاضلاب بخصوص در دهه‌های اخیر، رشد قابل توجهی داشته است. از اهداف قابل اشاره در تصفیه فاضلاب، تثبیت مواد آلی تولید شده، پساب قابل تخلیه در محیط و محافظت از محیط‌زیست و استفاده دوباره از آب و مواد جامد ناشی از تصفیه فاضلاب است. از آنجا که جامدات فاضلاب ۹۲ تا ۹۹/۵ درصد حاوی آب هستند، جمع‌آوری، حمل، انتقال و دورریزی آن‌ها مشکل و پرهزینه است. جامدات فاضلاب باید تحت عملکردهایی از جمله غلیظ سازی، اضافه کردن ترکیبات شیمیایی، آبگیری مکانیکی، فعالیت‌های گرمایی، تثبیت زیستی و یا عمل هضم قرار گیرند تا مواد آلی فسادپذیر به محصولاتی خنثی تبدیل شده، آب آن‌ها گرفته شود و وزن و حجمشان کاهش یابد.

تصفیه بیولوژیکی فاضلاب به دلیل استفاده از موجودات زنده در فرآیند حذف مواد آلی فاضلاب، همواره مهم‌ترین و حساس‌ترین بخش تـصفیه فاضلاب است.

تصفیه بیولوژیک[1] فاضلاب

تصفیه اولیه تنها قادر به جداسازی بخشی از مواد معلق (که قابلیت ته‌نشینی

1. Biological Treatment

دارند) و در نهایت مقدار کمی از مواد آلی خواهد بود. بدین ترتیب برای جداسازی و حذف مواد آلی محلول و همچنین مواد کلوئیدی و غیر قابل ته‌نشینی نیاز به مرحله دیگری از تصفیه (تصفیه ثانویه) داریم. عملکرد تصفیه اولیه برای کاهش بار آلودگی وارد شونده به جریان‌های طبیعی آب بسیار حساس است. این عمل، بدون افزایش منعقد کننده‌های شیمیایی و اختلاط مکانیکی و یا عملیات لخته سازی است. مواد آلی، اندکی از آب سنگین‌ترند و ته‌نشین شده و مواد سبک‌تر مانند روغن‌ها در سطح فاضلاب شناور می‌شوند. جداسازی کف توسط لجن‌روب و جداسازی مواد شناور توسط یک سرریز انجام می‌گیرد. ته‌نشین سازهای اولیه یا به شکل مخازن مستطیل بلند و یا مخازن استوانه‌ای هستند.

در تصفیه ثانویه اغلب از عوامل بیولوژیکی (میکروارگانیسم‌ها) برای تبدیل و تجزیه مواد آلی بهره گرفته می‌شود. در حقیقت، میکروارگانیسم‌ها مواد آلی را تجزیه و از آن‌ها به عنوان مواد غذایی استفاده می‌کنند. این مواد به آب، گاز و ترکیبات ساده‌تر تبدیل می‌شوند و انرژی حاصل از این واکنش‌های بیولوژیکی صرف فعالیت‌های میکروارگانیسم‌ها می‌شود. گازها از فاضلاب خارج شده و سلول‌های بیولوژیک نیز به وسیله عمل ته‌نشینی از فاضلاب جدا می‌شوند. جداسازی مواد کلوئیدی نیز از طریق به دام افتادن آن‌ها در توده بیولوژیک انجام می‌گیرد.

فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی به سه گروه عمده زیر تقسیم می‌شوند:

فرآیند هوازی[1]

در این فرآیند، مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌های هوازی و در حضور اکسیژن محلول تجزیه می‌شوند. محصول این واکنش آب، دی‌اکسید کربن و انرژی است که انرژی حاصله برای تولید سلول‌های جدید و فعالیت‌های حیاتی میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شود. برکه‌های هوازی، لجن فعال، لاگون‌های هوادهی و صافی‌های چکنده، نمونه‌هایی از فرایندهای هوازی هستند.

1. Aerobic Process

فرآیند غیرهوازی[1]

در این فرآیند بعضی از نمک‌ها و مواد معدنی در غیاب اکسیژن محلول و با استفاده از اکسیژن ترکیبی، به صورت بیولوژیکی به مواد ساده‌تر تبدیل می‌شوند. مانند دینیتریفیکاسیون غیرهوازی که در آن نیترات در غیاب اکسیژن آزاد محلول به گاز نیتروژن تبدیل می‌شود. در گذشته این عمل دینیتریفیکاسیون بی‌هوازی خوانده می‌شد.

فرآیند بی‌هوازی[2]

در این فرآیند، مواد آلی و غیرآلی در غیاب مولکول‌های اکسیژن توسط میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی تجزیه می‌شوند. محصول این واکنش دی‌اکسیدکربن، گاز متان و به میزان کمی نیز سلول‌های جدید است. بدین ترتیب حجم لجن حاصله در این فرآیند کم است. مانند سیستم‌های UASB و UABR.

فرآیندهای ترکیبی[3]

ترکیبی از فرآیندهای هوازی و بی‌هوازی است.

در یک تقسیم‌بندی دیگر و بسته به اینکه تماس بین میکروارگانیسم و مواد آلی به وسیله تعلیق توده باکتری در فاضلاب یا با عبور دادن فاضلاب از روی لایه باکتری‌های چسبیده به سطح جامد انجام شود، فرآیند تصفیه بیولوژیک به دو دسته زیر تقسیم می‌شود:

- فرآیند رشد معلق مانند روش لجن فعال، SBR، USBF و راکتورهای بی‌هوازی پوشش لجن با جریان رو به بالا
- فرآیند رشد چسبنده (ثابت) مانند صافی‌های چکنده، RBC، راکتور بی‌هوازی

1. Anoxic process
2. Anaerobic process
3. Faccultative process

با بستر ثابت و جریان رو به بالا
روش‌های متداول تصفیه بیولوژیکی فاضلاب به شرح زیر است:

سیستم هوازی با رشد معلق[1]

در سیستم‌های هوازی با رشد معلق، میکروارگانیسم‌ها در محیط فاضلاب پراکنده و به صورت معلق هستند. مهم‌ترین روش‌های تصفیه بیولوژیک فاضلاب با استفاده از سیستم هوازی با رشد معلق عبارتند از:

- سیستم راکتورهای ناپیوسته متوالی (SBR)[2]
- سیستم لجن فعال (AS)[3]
- سیستم فیلتراسیون از بستر لجن با جریان رو به بالا (USBF)[4]

سیستم راکتورهای ناپیوسته متوالی

راکتورهای ناپیوسته متوالی یک سیستم هوازی با رشد معلق است. عملکرد این سیستم مشابه سیستم لجن فعال است، با این تفاوت که ورود جریان به صورت منقطع می‌باشد به عبارت، دیگر فاضلاب وارد سیستم می‌شود و سپس تا مرحله تصفیه تجزیه شده و در نهایت پساب تصفیه‌شده تخلیه می‌شود.

کاربری این سیستم برای تصفیه فاضلاب کارگاه‌های کوچک و برای مناطقی که دارای جریان فاضلاب سیکلی هستند، مناسب است.

مزایای راکتورهای ناپیوسته متوالی عبارتند از:

- قابلیت انعطاف و کنترل در بهره‌برداری از سیستم
- امکان کاهش هزینه سرانه با محدود کردن تأسیسات و تجهیزات تصفیه
- قابلیت حذف نیتروژن، فسفر و آمونیاک

---

1. Aearobic Suspended Growth Process
2. Sequencing Batch Reactor
3. Activated Sludge
4. Upflow Sludge Blanket Filtration

محدودیت‌ها و معایب راکتورهای ناپیوسته متوالی عبارت است از:

- لزوم بهره‌گیری از تخصص و تجربه بسیار بالا بخصوص در کنترل و زمانبندی سیستم
- لزوم استفاده از تعمیرات و نگهداری بالا
- امکان انسداد لوله و سیستم‌های توزیع هوا

لجن فعال

لجن فعال یکی از متداول‌ترین فرآیندهای تصفیه هوازی فاضلاب است. مراحل اصلی تصفیه بیولوژیک به روش لجن فعال شامل هوادهی، ته‌نشینی ثانویه، برگشت لجن فعال، دفع لجن اضافی و جمع‌آوری کفاب است که به طور خلاصه در زیر تشریح می‌شود:

در این روش ابتدا با عمل هوادهی به طور مصنوعی (توسط هواده‌های مکانیکی سطحی با افشانک یا دمنده‌های هوا) اکسیژن لازم برای میکروارگانیسم‌هایی که به حالت تعلیق در محیط فاضلاب وجود دارند، تأمین می‌شود. توده میکروارگانیسم با استفاده از اکسیژن و تغذیه مواد آلی موجود در فاضلاب رشد می‌کند و بدین ترتیب بخشی از مواد آلی که قابل تجزیه است از فاضلاب جدا شده (در ساخت سلول‌های میکروارگانیسم‌ها مصرف می‌شود) و بخش دیگر همراه با فاضلاب از حوض هوادهی خارج می‌شود. انجام عمل هوادهی ضمن افزایش اکسیژن محلول فاضلاب، با اختلاط کامل محتویات درون حوض، سبب می‌شود که مواد جامد معلق و همچنین مواد آلی محلول در فاضلاب، به ذرات درشت‌تری که به آسانی در حوض‌های ته‌نشینی قابل رسوب هستند، تبدیل شوند. ته‌نشینی و جداسازی مواد جامد معلقی که پس از اکسیداسیون بیولوژیکی تشکیل می‌شود، در حوض‌های ته‌نشینی ثانویه انجام می‌گیرد.

بخشی از سلول‌های ته‌نشین شده که حاوی مقدار قابل توجهی میکروارگانیسم‌های فعال و زنده است (لجن فعال)، برای رساندن غلظت میکروارگانیسم‌ها به حد

مطلوب و تسریع در تجزیه مواد آلی و در نهایت کوتاه کردن زمان اکسیداسیون مواد آلی، به حوض هوادهی برگشت داده می‌شود و بخشی دیگر به عنوان لجن اضافی دفع می‌گردد.

شکل ۱

کف تشکیل شده در سطح حوض‌های ته‌نشینی توسط قسمتی به نام کفابگیر که به لجنروب متصل است، جمع‌آوری و به حوضچه مخصوص جمع‌آوری کف منتقل می‌شود.

مهم‌ترین مزایای تصفیه بیولوژیکی به روش لجن فعال در مقایسه با سایر روش‌ها عبارت است از:

- بازدهی تصفیه بالایی دارد و در صورت بهره‌برداری مناسب بازده حذف BOD_5 و کل جامدات معلق تا بیش از ۹۰ درصد می‌رسد.
- سرمایه‌گذاری اولیه احداث این سیستم کمتر از صافی‌های چکنده است، ولی از سایر روش‌ها بیشتر است.
- به علت هوازی بودن کامل سیستم در طی جریان تصفیه، بوی نامطبوع ایجاد نمی‌شود.

- به علت پایین بودن بار آلی پساب خروجی، می‌توان آن را در منابع آب‌های سطحی یا زیرزمینی دفع کرده و یا در کشاورزی مورد استفاده قرار داد.

محدودیت‌ها و معایب تصفیه بیولوژیکی به روش لجن فعال عبارت است از:

- بهره‌برداری و نگهداری از این سیستم احتیاج به کادر با تجربه و متخصص دارد.
- هزینه بهره‌برداری و نگهداری این سیستم، بیشتر از سایر روش‌هاست.
- تأمین هوادهی مورد نیاز این فرآیند مستلزم مصرف قابل توجه انرژی است که باعث افزایش هزینه‌های جاری می‌شود.
- انعطاف‌پذیری این سیستم به نسبت پایین است و با تغییر کمیت و کیفیت ناگهانی فاضلاب ورودی، درجه تصفیه نیز تغییر می‌کند. به عبارت دیگر توانایی ترمیم این سیستم در مقابل بارهای ناگهانی به نسبت کم است.
- آبگیری لجن حاصله نیاز به تجهیزات و تأسیسات مخصوص دارد.
- برای دفع بهداشتی لجن، به واحدهای تصفیه و دفع لجن احتیاج است که این مرحله از تصفیه فاضلاب نیز مشکل و هزینه‌بر است.
- برای تأمین اکسیژن کافی و عمل هوادهی، بخصوص در تابستان که گرما باعث کاهش حلالیت اکسیژن در فاضلاب می‌شود، نیاز به مصرف بیشتر انرژی است.

ساختمان لخته‌های لجن فعال

یک مدل ساده از فلوک‌های لجن فعال، دو نوع مورفولوژی از میکرواگانیسم‌ها را شامل می‌شود:

- ارگانیسم‌های خشن کروی یا میله‌ای شکل
- ارگانیسم‌های رشته‌ای مانند فیلامنتوس

به وجود آمدن فلوک‌هایی[1] با قدرت ته‌نشینی سریع که یک پساب زلال و یک لجن ته‌نشین شده غلیظ را تولید می‌کند، باید تعادل مناسبی از فلوک و

1. Floc

ارگانیسم‌های فیلامنتوس را دارا باشند.

ارگانیسم‌های فیلامنتوس از داخل رشد پیدا می‌کند و رشته‌های جانبی را به وجود می‌آورد (در سطح فلوک) که ذرات کوچک‌تر را در خلال ته‌نشینی در داخل خود گرفتار می‌کند.

یک فلوک ایده‌آل از این نمونه که به وسیله چهارچوب یا شبکه‌ای از ارگانیسم‌های فیلامنتوس بهم پیوسته شده باشد، می‌تواند یک ساختمان مناسب را ایجاد کند. وقتی که فلوک کم یا بدون ارگانیسم‌های فیلامنتوس باشد خشن، گرد، کوچک و ضعیف هستند.

این فلوک‌ها به نام فلوک ریز یا فلوک نقطه‌ای نامیده می‌شوند که به راحتی در تغییرات محیطی واحد هوادهی شکسته می‌شوند. اغلب ذرات کوچک از این فلوک‌های از بین رفته، توانایی مناسبی را برای توده شدن و ته‌نشین شدن ندارند و در نتیجه، یک پساب تیره حاصل خواهد شد.

وقتی مقادیر زیادی از ارگانیسم‌های فیلامنتوس در مایع مخلوط به وجود آیند، تمام سطح فلوک‌ها را محصور می‌کنند. این ممانعت مکانیکی راه تراکم فلوک‌ها را می‌بندد و درنتیجه، لجن فعال حجیم می‌شود.

سیستم فیلتراسیون از بستر لجن با جریان رو به بالا (USBF)

این فرآیند، یک سیستم لجن فعال متعارف است که با یک منطقه غیر هوازی[1] و یک کیک لجن با جریان رو به بالا ترکیب شده و در یک بیوراکتور یکپارچه گرد هم آمده است.

در این سیستم ابتدا فاضلاب خام وارد بخش بی‌هوازی شده و در آنجا با لجن بازگشتی از کف مخزن ته‌نشینی ترکیب می‌شود. برای این اختلاط نیازی به مخلوط کننده نیست و اغتشاشی که جریان ورودی و لجن برگشتی ایجاد می‌کند، برای اختلاط آن‌ها کافی است. فاضلاب تحت تأثیر شرایط بی‌هوازی موجود و زمان ماند مناسب در این ناحیه اولین مرحله از تصفیه را طی می‌کند.

---

1. anoxic

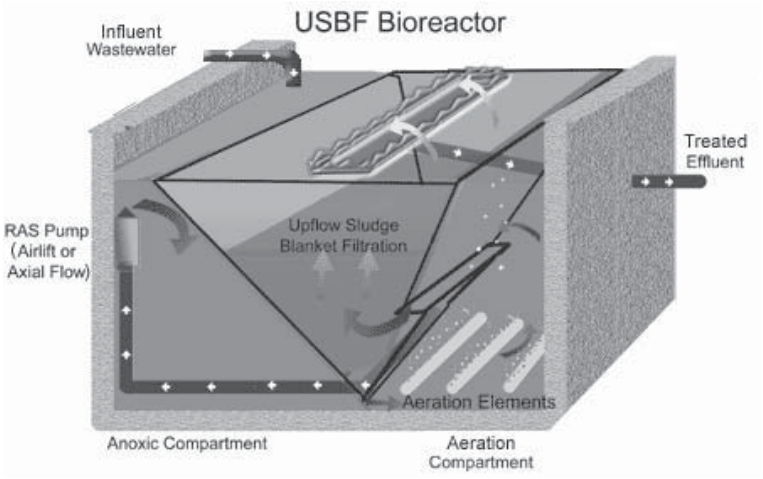
پس از این مرحله، جریان فاضلاب به صورت جریان نهرگونه و از طریق ناحیه‌ای که توسط هواده‌های عمقی هوادهی شده‌اند، وارد بیوراکتور می‌شود. در آنجا بستر لجن، لخته‌های لجن را جذب کرده و فاضلاب را از فیلتر لجن عبور می‌دهد. در بیوراکتور، فاضلاب هوادهی شده توسط توده‌ای متراکم از میکروارگانیسم‌های فعال مورد تصفیه قرار می‌گیرد.

فرآیند فیلتراسیون تودهٔ متراکم لجن موجب می‌شود تا پس از جداسازی، پساب زلال و تمیزی حاصل شود. این پساب از روی سطح و توسط یک سرریز تناسبی جمع‌آوری شده و از سیستم خارج می‌شود. برای تکمیل چرخه داخلی، لجن فعال جمع‌آوری شده در کف زلال‌ساز به قسمت بی‌هوازی در ورودی بیوراکتور بازگشت داده می‌شود.

مهم‌ترین مزایای سیستم USBF عبارت است از:

- به طور ویژه فضای کمتری را اشغال می‌کند.
- یک سیستم کارآمد تصفیه فاضلاب است که هزینه نگهداری و راهبری بسیار پایینی دارد.
- محدودیت ظرفیت نداشته و در محدودهٔ گسترده‌ای از کاربردها قابل استفاده است.

- ترکیبی از سه الگو است که هر کدام به نوعی موجب افزایش بازده تصفیه و کاهش هزینه‌ها می‌شود.
- با به کارگیری یک فیلتراسیون با جریان رو به بالا از یک بستر لجن، نرخ جداسازی افزایش می‌یابد.
- در این سیستم کلیهٔ مراحل در یک بیوراکتور فشرده صورت می‌پذیرد که نتیجهٔ آن کاهش قابل توجه در هزینه‌های ساخت و راه‌اندازی واحدها و همچنین کوچک شدن ابعاد واحدها و در نهایت اندازه تصفیه‌خانه است.
- بازده بالای تصفیهٔ فاضلاب توسط این سیستم، میزان مواد غذایی نیتروژن و فسفر را به پایین‌تر از حدود استاندارد (برای تخلیه به کلیهٔ منابع پذیرنده) کاهش می‌دهد.
- سن لجن در این سیستم بالا است که خود باعث تولید لجن مازاد کمتر و پایدارتر می‌شود.
- سن بالای لجن، عملکرد دستگاه‌های آبگیری لجن را در این سیستم بهبود می‌بخشد.
- شرایط کاملاً هوازی در بیوراکتور و سن زیاد لجن، احتمال ایجاد بو را در سیستم از بین می‌برد.
- سن بالای لجن در این سیستم معادل واحد هضم لجن است و در اغلب موارد می‌توان لجن حاصله را بدون نیاز به تصفیه و پس از آبگیری به عنوان کود در کشاورزی مورد استفاده قرار داد.
- سیستم USBF به خوبی شوک‌ها و جریان‌های مازاد را دریک حالت خودبه‌خودی کنترل می‌کند.



شکل ۳: بیوراکتور VSBF

سیستم هوازی با رشد ثابت[1]

در این روش باکتری‌های هوازی بر روی قطعات قلوه سنگ یا دانه‌های ماسه و به طور کلی بر روی بسترهای ثابت قرارگرفته و فاضلاب توسط توزیع‌کننده‌های دوار به صورت یکنواخت بر روی سطح بستر توزیع می‌شود و به این ترتیب میکروارگانیسم‌ها مواد آلی فاضلاب را در حالی که همراه با جریان فاضلاب عبور می‌کند، مورد تجزیه قرار می‌دهند.

بهره‌گیری از بستر ثابت و موادی که اغلب برای بستر صافی مورد استفاده قرار می‌گیرند (شامل قلوه سنگ، سنگ شکسته، آجر جوش، سنگ‌های آتش‌نشانی (توف)، سرامیک، سفال و بسترهای مصنوعی از جنس پلاستیک با مقاطع مختلف) برای افزایش سطوح تماس برای چسبیدن میکروارگانیسم‌ها و افزایش سطح تماس با فاضلاب است به این ترتیب بازده حذف مواد آلی در چنین سیستم‌هایی بالاتر خواهد بود.

---

1. Aerobic Attached (Fixed) Growth Process

به طور کلی مواد پرکننده بستر باید خصوصیات زیر را دارا باشند:

- در حجم کم از سطح زیادی برخوردار باشند و هر چه سطح پوشش بیشتر باشد، توده زنده بیشتری را در واحد حجم می‌تواند در خود نگهداری کند.
- درصد فضای خالی زیادی داشته باشند. به عبارت دیگر، در حجم کم فضای خالی کافی برای عبور فاضلاب و هوا را دارا باشند. به این ترتیب بار هیدرولیکی بیشتری می‌تواند بدون محدود بودن انتقال اکسیژن اعمال شود.
- سطوح تماس آن‌ها با فاضلاب، زبر باشد تا باکتری‌ها بهتر بتوانند به آن بچسبند.
- مواد پرکننده بستر باید از جنس متراکم و با دوام باشد تا به راحتی ورقه ورقه نشود. در مورد پرکننده‌های پلاستیکی، استحکام آن‌ها باید به اندازه‌ای باشد که بتوانند وزن یک کارگر معمولی را تحمل کنند.
- پرکننده‌های بستر باکتری باید به اندازه کافی در برابر عوامل محیطی و عوامل خورنده مقاوم باشند و قابل حل در فاضلاب نیز نباشند. مصالح سرباره‌ای باید عاری از آهن باشد.
- قیمت آن‌ها خیلی گران نبوده و به آسانی قابل تهیه باشند.

مهم‌ترین روش‌های تصفیه بیولوژیک هوازی با رشد ثابت یا چسبیده عبارت است از:

- سیستم صافی‌های چکنده(TF)[1]
- سیستم تماس‌دهنده‌های بیولوژیکی چرخان(RBC)[2]

سیستم صافی‌های چکنده

صافی‌های چکنده، راکتورهایی دایره‌ای شکل هستند که در آن‌ها فاضلاب توسط یک پخش‌کننده مکانیکی بر روی بستر ثابتی از مواد پرکننده پخش می‌شود. فاضلاب در مسیر حرکت خود به سمت پایین سطح جانبی مواد پرکننده را خیس می‌کند و به تدریج لایه‌ای از میکروارگانیسم‌ها بر روی سطح بستر

1. Trickling Filter
2. Rotating Biological Contactor

تشکیل می‌شود که به طور متناوب با فاضلاب و هوا در تماس است.

میکروارگانیسم‌ها در هر بار عبور از فاضلاب، مواد قابل تجزیه بیولوژیکی موجود در آن را جذب کرده و با استفاده از اکسیژن محلولی که در تماس با هوا (که از طریق تهویه طبیعی و با نفوذ هوای آزاد در لایه‌های بستر تأمین می‌شود) جذب می‌کنند، این مواد تجزیه شده و بخشی از آن را طی متابولیسم حیاتی خود به مصرف می‌رسانند.

شکل ۴: نمایی از یک سیستم صافی چکنده

صافی‌های چکنده را از دو نظر دسته بندی می‌کنند. نخست از نظر میزان بارگذاری بر روی صافی که به صافی‌های کم بار و پر بار تقسیم‌بندی می‌شوند و دوم با توجه به شکل ساختمانی آن‌ها که به صافی‌های ایستاده ـ ثابت و صافی‌های استوانه‌ای ـ گردان (خوابیده) تقسیم‌بندی می‌شوند.

مهم‌ترین مزایای سیستم تصفیه بیولوژیکی به روش صافی‌های چکنده عبارت است از:

- توانایی تحمل بارهای ناگهانی[1] در این سیستم از سیستم لجن فعال بیشتر است و تغییرات کمّی و کیفی فاضلاب بر روی بازده تصفیه تأثیر عمده‌ای ندارد.
- مخارج نگهداری و بهره‌برداری آن کمتر از سیستم لجن فعال است.
- مصرف انرژی آن در مقایسه با لجن فعال کمتر است.
- قدرت نیترات‌سازی (نیتریفیکاسیون) آن بالا است.
- نیاز به تخصص کمتر در راهبری و نگهداری در مقایسه با سیستم لجن فعال دارد.

محدودیت‌ها و معایب صافی‌های چکنده عبارت است از:

- سطح مورد نیاز در این سیستم از لجن فعال بیشتر است.
- افت فشار در این روش بیشتر از سایر روش‌هاست (به طوری که بدون در نظر گرفتن عمق مواد داخل بستر و زهکش‌ها باز هم افت فشار به ۱/۵ تا ۳/۵ متر می‌رسد).
- امکان رشد و نمو و تکثیر مگس و سایر حشرات و تولید بوی نامطبوع در حوالی صافی‌ها
- عدم اطمینان در وجود ضوابط دقیق طراحی و کارکرد سیستم
- هزینه اولیه تأسیس این روش‌ها بیش از سایر روش‌هاست
- امکان یخبندان سطح صافی در ایام زمستان و کاهش بازده آن
- اجبار در تصفیه مقدماتی فاضلاب، پیش از وارد کردن آن به صافی چکنده که این عمل بر خلاف سیستم لجن فعال حتی برای شهرهای کوچک نیز الزامی است.

سیستم تماس‌دهنده‌های بیولوژیکی چرخان (RBC)

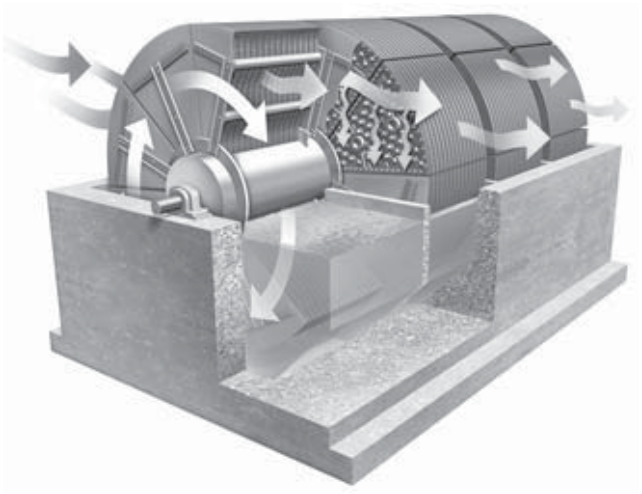
این نوع راکتورها از پلاستیک‌هایی ساخته شده است که به عنوان محیط نگهدارنده میکروارگانیسم‌ها عمل می‌کند و میکروارگانیسم‌ها به این محیط‌های

1. Shock-Loads

پلاستیکی خنثی برای تشکیل بیوفیلم می‌چسبند.

آرایش محیط نگهدارنده به صورت رشته‌ای از دیسک‌هاست که بخشی از آن یا کل آن در فاضلاب مستغرق است و آهسته به وسیله یک محور افقی در حرکت بوده و فاضلاب از میان آن‌ها جریان می‌یابد و ازآنجا که محیط نگهدارنده میکروارگانیسم‌ها در حال حرکت است، فیلم میکروبی به طور پیوسته در معرض مواد غذایی ورودی قرار می‌گیرند.

سرعت دوران بین محیط و فاضلاب، ضخامت بیوفیلم را کنترل می‌کند. لجن اضافی نیز همراه با فاضلاب تصفیه شده از راکتور خارج می‌شود.



شکل ۵: نمایی از سیستم RBC

مهم‌ترین مزایای فرآیند دیسک‌های بیولوژیک چرخان عبارت است از:

- زمان ماند هیدرولیکی (HRT)[1] کوتاه همراه با زمان ماند سلولی بالا
- تصفیه مؤثر برای فاضلاب‌هایی با غلظت مواد آلی بالا

1. Hydrolic Retention Time

- پایداری بالا
- تولید لجن با حجم کمتر
- قابلیت تحمل بار هیدرولیکی و مواد سمی ورودی
- کاهش انرژی مورد نیاز

محدودیت فرآیند دیسک‌های بیولوژیک چرخان عبارت است از:

- نیاز به نگهداری و تعمیرات واحدهای مکانیکی

سیستم تلفیقی رشد ثابت و لجن فعال[1] (IFAS)

در سیستم تلفیقی به دلیل وجود بستر (مدیا)[2] در راکتور هوادهی، مزایای مربوط به سیستم‌های رشد چسبیده به سایر مزایای فرآیند لجن فعال که سیستم شاخص رشد معلق است، اضافه می‌شود. به عبارت دیگر علاوه بر امتیازات انعطاف‌پذیری و کارایی بالای تصفیه در سیستم‌های معلق، به دلیل پایداری بیشتر در سیستم رشد چسبنده، فرآیند مربوطه در برابر شوک‌های آلی و هیدرولیکی مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند.

در این سیستم با قرارگیری بسترهای ثابت در راکتور هوادهی، توده میکروبی به آن‌ها چسبیده و در نهایت کمتر به صورت معلق همراه با مایع مخلوط مواد جامد یا MLSS[3] از حوض هوادهی خارج و وارد حوض ته‌نشینی می‌شود. به این ترتیب با افزایش غلظت MLSS در حوض هوادهی، امکان بارگذاری بیشتر در تصفیه‌خانه و یا بهره‌گیری از تأسیسات کوچک‌تر میسر خواهد شد.

در سیستم لجن فعال، سرعت رشد باکتری‌های نیتریفایر که نیتروژن آمونیاکی را به نیترات تبدیل می‌کنند، خیلی کمتر از باکتری‌های هتروتروف است که قادر به اکسیدکردن مواد آلی موجود در فاضلاب هستند. بنابراین، دستیابی به سیستمی که انجام عملیات نیتریفیکاسیون در آن الزامی باشد، مستلزم بهره‌گیری از زمان ماند سلولی (یا سن لجن) بیشتر است که در سیستم لجن فعال متعارف،

1. Integrated Fixed film / Activated Sludge
2. Media
3. Mixed Liquid Suspended Solid (MLSS)

با افزایش حجم حوض هوادهی و با تولید غلظت بالاتری از توده بیولوژیکی میسر است.

استفاده از سیستم تلفیقی رشد ثابت و چسبنده با افزایش بستر (مدیا) به یک سیستم لجن فعال متعارف، باعث افزایش سرعت دینیتریفکاسیون و دینیتریفیکاسیون در راکتور هوادهی شده، می‌شود. بنابراین، استفاده از این روش در تصفیه فاضلاب‌های قوی با کیفیت و کمیت متغیر، بسیار مناسب است.

سیستم IFAS برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی و یا ترکیب آن‌ها قابل استفاده بوده و با توجه به مزایای آن کاربرد آن رو به گسترش است.

شکل ۶: نمونه از سیستم IFAS

برای اینکه یک سیستم به هدف (تصفیه فاضلاب) نزدیک و از نظر اقتصادی

مناسب باشد، لازم است که بستر (مدیا) بدون بریده شدن و خراب شدن، فضای لازم را برای رشد توده بیولوژیکی فراهم کند. مهم‌ترین مواردی که در مورد بستر باید مورد توجه قرار گیرد، عبارت است از:

- جنس بستر
- شکل هندسی، اندازه و چگالی بستر
- سطح ویژه بستر
- قیمت بستر

در سیستم تلفیقی رشد ثابت و چسبنده از بسترهای مختلفی استفاده می‌شود که می‌توان آن‌ها را به طورکلی به دو دسته اصلی زیر تقسیم کرد:

- سیستم تلفیقی با بسترهای معلق در داخل حوض هوادهی
- سیستم تلفیقی با بسترهای ثابت در داخل حوض هوادهی

شکل ۷

سیستم تلفیقی با بستر معلق در حوض هوادهی

جدول ذیل انواع مختلف بستر (مدیا) پراکنده و مزایا و معایب آن را نشان می‌دهد:

جدول ۱: انواع مختلف مدیا در سیستم IFAS و مزایا و معایب آن‌ها

بستر پراکنده	مزایا	معایب
لوله‌های پلاستیکی پره‌دار	۱- اختلاط عالی ۲- توانایی حذف لجن برگشتی	۱- از بین رفتن مدیا در اثر شست‌وشو و یا سائیدگی ۲- سیستم هوادهی و آشغال ممکن است گیر کنند. ۳- تعمیر و نگهداری سیستم هوادهی سخت است.
اسفنج		

سیستم تلفیقی با بستر ثابت در حوض هوادهی

جدول ذیل انواع مختلف مدیا ثابت و مزایا و معایب آن را نشان می‌دهد:

جدول ۲: انواع مختلف مدیا در سیستم IFAS ومزایا و معایب آن‌ها

بستر ثابت	مزایا	معایب
پارچه‌ای	۱- سادگی نصب ۲- هزینه اولیه پایین ۳- عدم نیاز به نگهداری ۴- قابل تعویض ۵- غیرقابل فرسایش	۱- ممکن است عملکرد مناسبی به دلیل حذف ناکافی الیاف کهنه نداشته باشد.
طنابی	۱- قابل تعویض ۲- غیرقابل فرسایش	۱- احتمال شکستن مواد و یا گیر کردن آنها وجود دارد. ۲- فضای کافی نیاز دارد. ۳- ممکن است عملکرد مناسبی به دلیل حذف ناکافی الیاف کهنه نداشته باشد.
صفحه‌های PVC (فیلترهای چکنده)	۱- قابل تعویض ۲- غیرقابل فرسایش	۱- ممکن است عملکرد مناسبی به دلیل حذف ناکافی الیاف کهنه نداشته باشد. ۲- احتمال گرفتگی به دلیل زیاد بودن توده بیولوژیکی وجوددارد. ۳- ساختمان مدیا ممکن است مانع عمل اختلاط شود.

مهم‌ترین مزایای سیستم IFAS عبارت است از:

- در سیستم IFAS و در مقایسه با سیستم لجن فعال متداول، حجم حوض هوادهی کوچک‌تر بوده و در نتیجه هزینه‌های اجرایی آن کمتر است.
- در سیستم‌های مدولار با افزایش بار ورودی هزینه‌های ارتقاء ظرفیت در این سیستم‌ها کمتر است.
- هزینه‌های بهره‌برداری از سیستم IFAS بیشتر از سیستم لجن فعال متداول نبوده و یا به میزان کمی بیشتر است.
- بالا بردن میزان نیتریفیکاسیون و دینیتریفیکاسیون در سیستم
- از این سیستم برای افزایش بازده تصفیه، بدون افزایش هزینه زیاد می‌توان استفاده کرد.
- این سیستم به دلیل ترکیب دو روش رشد معلق و چسبنده دارای بازده بالاتری بوده و در برابر شوک‌های آلی و هیدرولیکی مقاومت بیشتری دارد.
- افزایش بستر (مدیا) به داخل سیستم لجن فعال یک روش کنترل پدیده بالکینگ (حجیم شدن لجن) رشته‌ای محسوب می‌شود.
- به دلیل وجود بستر (مدیا)، پدیده شسته شدن ذرات معلق به دلیل بارگذاری هیدرولیکی بالا، کاهش می‌یابد.
- کاهش میزان لجن برگشتی لازم

محدودیت‌ها و معایب سیستم IFAS عبارت است از:

- به دلیل ساختمان مدیا ممکن است در این سیستم اختلاط به صورت کامل انجام نشود.
- رشد زیاد توده بیولوژیکی می‌تواند موجب گرفتگی شود.
- عملکرد مدیا ممکن است به دلیل کهنگی و فرسودگی مناسب نباشد.
- تعمیر و نگهداری سیستم هوادهی سخت است.
- احتمال از بین رفتن مدیا در اثر شست و شو و ساییدگی وجود دارد.
- احتمال ایجاد جریان‌های میان‌بر در بین لایه‌های مدیا وجود دارد.

شکل ۷

تصفیه به وسیله فرآیند توده لجن بی هوازی بالا رونده یا UASB[1]

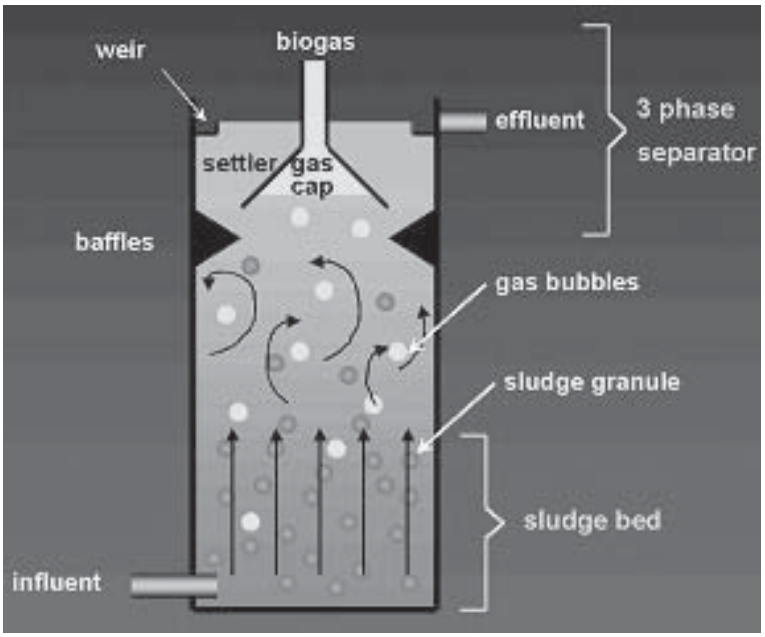
در ۲۰ سال گذشته بیش از ۱۵۰ واحد سیستم جریان رو به بالای توده لجن بی‌هوازی (UASB) در نقاط مختلف جهان برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی با BOD[2] بسیار بالا ساخته شده است.

تصفیه فاضلاب با استفاده از فرآیند توده لجن UASB همانگونه که از نام آن پیداست توسط راکتوری که فاضلاب خام پس از تصفیه فیزیکی اولیه از پایین وارد آن شده و در تماس با توده بیولوژیکی باکتری‌های بی‌هوازی تصفیه می‌شود.

در حال حاضر واحدهای زیادی از تصفیه به روش UASB در دنیا برای تصفیه فاضلاب صنعتی مورد بهره برداری قرار گرفته‌اند. در هندوستان برای تصفیه فاضلاب صنعتی و چند مورد برای فاضلاب شهری در ظرفیت‌های بین ۱۴۰۰ تا ۵۰۰۰ متر مکعب در روز مورد استفاده واقع شده است.

---

1. Upflow Anaerobic Sludge Blanket Process
2. Biological Oxygen Demand



شکل ۸: نمایی از یک سیستم UASB

نحوه استقرار سیستم UASB در بین واحدهای دیگر تصفیه خانه

سیستم UASB یک سیستم منحصر به فرد در تصفیه نیست که بتواند به تنهایی عمل پالایش فاضلاب را انجام دهد. نحوه روند استقرار واحدهای تصفیه فاضلاب صنعتی در روشی که از UASB استفاده می‌شود و به صورت ذیل است:

- پمپاژ اولیه
- آشغالگیری و دانه‌گیری
- رأکتور اصلی UASB
- سیستم‌های تصفیه بیولوژیک هوازی
- بسترهای خشک کننده لجن یا استخر لجن

• تأسیسات تصفیه نهایی (که وابسته به استانداردهای تخلیه فاضلاب تصفیه شده است.)

وقتی جریان فاضلاب صنعتی وارد تصفیه‌خانه می‌شود، ابتدا عمـــل آشغالگیری بر روی آن صورت می‌گیرد و سپس دانه‌ها حذف می‌شوند. سپس جریان وارد واحد توزیع شده و پس از آن توسط چند لوله قائم وارد UASB که دارای عمقی معادل ۴/۵ تا ۵ متر است، می‌شود و در قسمت تحتانی رأکتور به صورت یکنواخت تا مدتی باقی می‌ماند و آنگاه با یک سرعت کنترل شده به سمت فوقانی رأکتور حرکت می‌کند.

در فرآیند UASB تمامی فاضلاب (نه فقط لجن) از درون یک راکتور بی‌هوازی با جریان رو به بالا عبور می‌کند که زمان ماند هیـــدرولیکی (HRT[1]) آن در حدود ۸ تا ۱۰ ساعت در جریان متوسط است. ته‌نشینی مقدماتی مورد نیاز نیست. واحد بی هوازی نیاز به فیلتر با محیط لاشه سنگ یا محیط‌های دیگر ندارد.

جریان رو به بالا خود به خود میلیون‌ها ذره ریز با ذرات لجنی که در حالت سوسپانسیون بوده و سطح بسیار وسیعی ایجاد می‌کنند را تشکیل می‌دهد. به طوری که مواد آلی به آن چسبیده و تحت شرایط بیولوژیکی شروع به تجزیه می‌کند. زمان ماند بالای جامدات (SRT)[۲] در حدود ۳۰ تا ۵۰ روز و یا بیشتر در این واحد اتفاق می‌افتد. هیچ‌گونه مخلوط کن یا هوادهی مورد نیاز نیست. بنابراین، هزینه ذخیره انرژی و بهره‌برداری بسیار پایین است.

گاز تولید شده را می‌توان جمع‌آوری کرد و در صورت نیاز مورد استفاده قرار داد. سیستم‌های بی‌هوازی وقتی که دمای داخل راکتور بالای ۱۸ تا ۲۰ درجه سلسیوس رسید، به خوبی عمل می‌کنند. بنابراین، در اکثر قسمت‌های هندوستان و نواحی گرمسیری ایران مشکل دما وجود نخواهد داشت.

---

1. Hydranlic Retention Time
2. Solids Retention Time

تصفیه به وسیله فرآیند توده لجن بی‌هوازی بالا رونده با بستر ثابت یا UAFB[1]

سیستم UAFB از نظر فرآیندی مشابه سیستم UASB بوده با این تفاوت که میکروارگانیسم‌های عامل تصفیه فاضلاب بر روی سطوحی خاص به نام بستر (مدیا) قرار گرفته و در درون راکتور به صورت معلق و آزادانه نمی‌باشند. در این راکتور، مواد آلی و غیرآلی در غیاب مولکول‌های اکسیژن توسط میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی تجزیه می‌شوند.

فاضلاب خروجی از واحد UAFB سپس وارد واحد هوادهی می‌شود و تصفیهٔ بیولوژیک فاضلاب تحت شرایط هوازی و توسط میکروارگانیسم‌های هوازی انجام می‌شود. بهره‌گیری از مدیا به منظور تهیه بسترهای ثابتی که فیلم بیولوژیکی بر روی آن‌ها تشکیل می‌شود، با هدف جلوگیری از خروج توده بیولوژیکی و افزایش سن لجن، نقش مؤثری در افزایش بازده تصفیه دارد.

تصفیه به وسیله فرآیند توده لجن بی‌هوازی همراه راهبند یا UABR[2]

سیستم UABR از نظر فرآیندی مشابه سیستم UASB بوده با این تفاوت که این راکتور به وسیله مانع یا Baffle به مراحل مختلف تقسیم می‌شود که علاوه بر امکان ایجاد جریان plug flow بازده تصفیه را بالا می‌برد.

در واقع این راکتور از چند واحد UASB متوالی تشکیل شده و مواد آلی و غیرآلی در غیاب مولکول‌های اکسیژن توسط میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی تجزیه می‌شوند.

فاضلاب خروجی از واحد UABR سپس وارد واحد هوادهی می‌شود و تصفیهٔ

1. Upflow Anaerobic Fixed Bed
2. Upflow Anaerobic Baffle Reactor

بیولوژیک فاضلاب تحت شرایط هوازی و توسط میکروارگانیسم‌های هوازی انجام می‌شود.

مزایای این سیستم عبارت است از:

- مقاومت در مقابل شوک‌های آلی و هیدرولیکی
- قابلیت ایجاد جریان Plug flow
- به دلیل استفاده از بافل[1] حجم حوض کاهش می‌یابد.
- به دلیل استفاده از بافل این راکتور مانند چند سیستم UASB متوالی عمل می‌کند و بازده بهتری خواهد داشت.

تصفیه به وسیله فرآیندکنتاکت Contact process

در این راکتور، مواد آلی و غیرآلی در غیاب مولکول‌های اکسیژن توسط میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی تجزیه می‌شوند.

فاضلاب خروجی از واحد contact process سپس وارد واحد ته‌نشینی اولیه می‌شود. ساختمان ویژهٔ واحد ته‌نشینی اولیه در نواحی ورودی و خروجی جریان، شرایط لازم را برای حذف لجن و سایر ذرات قابل ته‌نشینی فراهم می‌کند. لجن این واحد حاوی میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی است که در این سیستم می‌توان با برگشت آن به راکتور contact process، کمبود میکروارگانیسم‌های این سیستم را تأمین کرد.

تفاوت این روش با روش‌های دیگر تصفیه بی‌هوازی لزوم استفاده از واحد ته‌نشینی پس از راکتور اصلی و برگشت لجن به راکتور است. از طرف دیگر در این سیستم از مخلوط‌کن استفاده شده است. زمان ماند در این سیستم به دلیل بارگذاری کمتر COD طولانی‌تر است. فاضلاب پس از عبور از راکتور و شرایط بی‌هوازی وارد مرحله بعدی و تصفیه بیولوژیک هوازی می‌شود.

---

[1] Baffle

منابع

- دایرةالمعارف علوم مهندسی و محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست.
- "مهندسی محیط زیست" نوشته پوی، روو، و چپانوگلاس، ترجمه دکتر محمد علی کی‌نژاد و مهندس سیروس ابراهیمی، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند.
- انواع مشخصات فاضلاب و مراحل تصفیه آن، اداره بهداشت و محیط زیست (HSE)، ۱۳۸۷.
- تصفیه فاضلاب‌های صنعتی (جلد دوم)، خسرو صادق‌زاده، فروردین ۱۳۸۲.

طراحی: م. محسن زاده