# تصفیه بیولوژیکی فاضلاب شهري

---

**در طبیعت میان نمک های معدنی نظیر نیترات ها، فسفات ها، سولفات ها و ترکیبات آلی مانند پروتئین انواع اسیدهای آلی، الکل و جز آن، سیکل بسته ای به صورت زیر وجود دارد:**

**مواد معدنی با گرفتن گرمای ناشی از تابش خورشید توسط موجودات گیاهی، جذب و تبدیل به مواد آلی می شوند. در این کنش و واکنش معمولاً گیاهان اکسیژن آزاد می کنند. این پدیده فتوسنتز نامیده می شود. در مقابل حیوانات و از جمله باکتری ها با جذب اکسیژن، مواد آلی ناپایدار را تبدیل به مواد پایدار معدنی کرده و دوباره به طبیعت باز می گردانند. در ضمن این اکسیداسیون، گرما نیز تولید می شود. در اینجا لازم به ذکر است که قسمتی از مواد آلی جذب شده از سوی حیوانات (باکتری ها) و همچنین قسمتی از مواد معدنی جذب شده توسط گیاهان صرف خودسازی و تولید مثل آن ها می شود.**

**در یک تصفیه خانه فاضلاب، هر گاه تصفیه ی مکانیکی برای کاهش آلودگی فاضلاب کافی نباشد، از فعالیت موجودات زنده ای به نام باکتری های هوازی و یا بی هوازی برای ادامه ی تصفیه فاضلاب یاری می گیرند. کار واحد های تصفیه بیولوژیکی فاضلاب (مرحله ی دوم تصفیه ی آب و فاضلاب) در تصفیه خانه همانند تشدید عملی است که به طور خودکار در طبیعت رخ می دهد؛ یعنی با ایجاد محیطی مناسب برای رشد و افزایش تعداد باکتری های نامبرده، مدت زمان تصفیه طبیعی را، که ممکن است به چندین روز برسد، به چند ساعت کاهش می دهند.**

**دو گروه با باکتری های هوازی و بی هوازی جزو گروه باکتری های ساپروفیت هستند که مواد غذایی خود را برخلاف باکتری های انگلی از اجساد و پس مانده ی موجودات زنده تأمین می کنند و به همین دلیل این دسته از باکتری ها کارگران تصفیه خانه فاضلاب نامیده می شوند.**

**اندازه سلول باکتری های مورد بحث نزدیک به یک تا پنج میکرون بوده و از یک هسته و پلاسما که به وسیله پوسته ی سلولزی احاطه شده تشکیل می شود. روی پوسته ی نامبرده را پوسته لزج می پوشاند. نزدیک به۸/۰بدن باکتری از آب و بقیه ی آن از مواد آلی و معدنی تشکیل شده است.**

**گروهی از باکتری های هوازی موجود در فاضلاب به نام باکتری های نیترات ساز نامیده می شوند که در شرایط مناسب محیط زیست بر ترکیبات ازت دار مانند آمونیاک موجود در فاضلاب اثر کرده و آن ها را تبدیل به نیترات می کنند. همچنین گروه دیگری از باکتری ها به نام نیترات زدا در تصفیه فاضلاب هستند که در محیطی بدون اکسیژن بر نیترات ها اثر کرده، آن ها نخست به نیتریت و سپس به گاز ازت تبدیل و از فاضلاب بیرون می برند.**

**همانند سایر میکروارگانیسم ها، درجه ی گرما و درجه ی اسیدي فاضلاب و نیز مقدار اکسیژنی که به صورت مولکولی و محلولی و یا به صورت اتمی در ترکیبات گوناگون موجود در فاضلاب یافت می شوند، در مرگ و حیات و شدت فعالیت این باکتری ها نقش اساسی را ایفا می کنند. با افزایش درجه ی دما، فعالیت باکتری ها فزونی یافته و به ازای هر ده درجه ی سانتیگراد این فعالیت تقریباً دو برابر می شود.**

باکتری ها محیط اسیدی پایین تر از په هاش ٤ و محیط قلیایی بالاتر از په هاش ۹ را نمی توانند تحمل کنند. مناسب ترین درجه ی اسیدی برای زندگی و رشد باکتری ها بین٦تا ۷ درجه است. در هر صورت، تغییر ناگهانی درجه اسیدی فاضلاب در کاهش فعالیت و حتی مردن باکتری ها تأثیری چشم گیری دارد.

با توجه به آنچه گفته شد، برای بررسی بیشتر در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب باید نخست آن را به انواع زیر تقسیم نمود:

- تصفیه بیولوژیکی با کمک باکتری های هوازی.
- تصفیه بیولوژیکی با کمک باکتری های بی هوازی.
- تصفیه بیولوژیکی با کمک باکتری های هوازی نیترات ساز و باکتری های بی هوازی نیترات زدا.
- تصفیه بیولوژیکی با کمک باکتری های فسفات زدا.

تصفیه بیولوژیکی فاضلاب با کمک باکتری های هوازی

اساس کار در این روش تصفیه، رسانیدن اکسیژن به فاضلاب است. با اکسیژن محلول در فاضلاب، تولید مثل باکتری های هوازی شدت یافته و این باکتری ها به اطراف ذرات و قطعات کوچک تشکیل شده از مواد آلی موجود در فاضلاب نشسته و لخته هایی را تولید می کنند. این لخته ها که هزاران باکتری هوازی را با خود حمل می کنند در روش های گوناگون تصفیه بیولوژیکی فاضلاب نقش مهمی را ایفا می کنند. لخته های نامبرده یا به صورت معلق و شناور در فاضلاب می مانند (مانند استخرهای هوادهی)، یا بر قلوه سنگ ها می نشینند ( مانند صافی های چکنده).

در صورت هوارسانی کامل و رسیدن اکسیژن کافی به فاضلاب، تولید مثل و افزایش شمار این باکتری ها تا حدی فزونی می یابد که مواد آلی موجود در فاضلاب کفاف تغذیه ی آن ها را نداده، مرگ و میر در آن ها شروع شده و شمار آن ها بسته به مقدار مواد آلی در فاضلاب تقریباً ثابت مانده و یک نوع حالت تعادلی به وجود می آید.

برای اینکه همه ی مواد آلی موجود در فاضلاب به مصرف تغذیه ی باکتری ها رسیده و شمار آن ها به بیشترین اندازه ممکن برسد، لازم است که کمبود اکسیژن محلول در فاضلاب مرتباً برطرف شده و بازیابی اکسیژن توسط فاضلاب در مدتی کوتاه امکان پذیر باشد. برای رسیدن به این هدف ، باید سطح تماس فاضلاب با هوا افزایش یابد. این کار ممکن است با کمک دمیدن هوا در فاضلاب و یا ایجاد تلاطم در سطح آن رخ دهد.

اینگونه هوادهی در استخرهای هوارسانی انجام می گیرد. یا اینکه با چکانیدن فاضلاب روی قلوه سنگ های طبیعی و یا قطعه های پلاستیکی آن را در مجاورت هوا قرار داد. این روش در صافی چکنده مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین می توان فاضلاب را به صورت لایه های نازکی روی بسترهای ماسه ای (مانند صافی های ماسه) و یا زمین های غیر کشاورزی و یا کشاورزی پخش کرد.

تصفیه بیولوژیکی فاضلاب با کمک باکتری های بی هوازی

درصورتی که به فاضلاب اکسیژن نرسد، باکتری های هوازی فعال رشد و نمو خود را از دست داده و در عرض باکتری های بی هوازی فعالیت خود را شروع می کنند. کار این باکتری ها بر این اساس است که اکسیژن مورد نیاز خود را از تجزیه ی مواد آلی و معدنی موجود در فاضلاب بدست می آورند. به عبارت دیگر این باکتری ها بر خلاف باکتری های هوازی مواد نامبرده را احیاء می

کنند. نتیجه ی این فعالیت، تجزیه ی مواد آلی ناپایدار و تبدیل آن ها به نمک های معدنی پایدار و نیز گازهایی چون گاز هیدروژن سولفوره، گاز متان، و گاز کربنیک و گاز ازت است.

تولید گازهای نامبرده به ویژه گاز هیدروژن سولفوره موجب می شود که بوی ناخوشایند آن ها محیط زیست را به شدت آلوده سازد. از این رو این روش را به نام روش تعفن نیز میشناسند. به همین جهت موارد استفاده از باکتری های بی هوازی به منظور تصفیه فاضلاب برای جلوگیری از آلوده شدن محیط زیست تصفیه خانه ها محدود است. مهم ترین کاربرد روش استفاده از باکتری های بی هوازی در مخزن های سربسته ی هضم لجن است و تنها در تصفیه خانه های بسیار کوچک مانند انباره های بی هوازی (سپتیک تانک و ایمهف تانک) هم از روش بی هوازی برای تصفیه فاضلاب استفاده می شود. گذشته از موارد نام برده شده، همیشه در تصفیه خانه ها کوشش می شود تا با رسانیدن هوا و اکسیژن به فاضلاب، مانع از فعالیت باکتری های بی هوازی شوند. در تصفیه ی طبیعی که در چاه های فاضلاب خانگی رخ می دهد و نیز در لجن ته نشین شده در کف دریاچه ها نیز باکتری های بی هوازی فعالیت می کنند.

هضم لجن

لجن پیش از وارد شدن به منبع های هضم لجن دارای نزدیک به ٦٠ تا ٨٠ درصد مواد آلی تجزیه پذیر است. لجن تازه از نظر حجمی نزدیک به یک درصد کل فاضلاب را در بر می گیرد، ولی تصفیه ی آن بسیار پرهزینه و پیچیده است. هزینه ی تأسیسات هضم لجن گاهی نزدیک به نصف تمام هزینه ی یک تصفیه خانه را در بر می گیرد. تغلیظ کردن و گرفتن آب اضافی آن، کار تصفیه را آسان می سازد. هضم لجن که بر اثر تعفن و کار باکتری های بی هوازی است، در دو مرحله ی تخمیر اسیدی و تخمیر متانی انجام می گیرد.

مرحله ی اول- تخمیر اسیدی

در مرحله ی اول، لجن تازه که دارای رنگی زرد مایل به خاکستری و از نظر درجه ی اسیدی تقریباً حالت خنثی دارد، شروع به تعفن کرده، درجه ی اسیدی به ٥ و حتی به ٤ می رسد و محیط آن به شدت اسیدی می شود. انجام دهنده ی این کنش و واکنش ها گروهی از باکتری های بی هوازی هستند که به نام باکتری های بی هوازی اسیدی نامیده می شوند. در این مرحله بیشتر ترکیبات آلی کربن دار مورد تجزیه قرار می گیرند و بر مواد آلی ازت دار کمتر تأثیر گذاشته می شود. بنابراین از این نظر، شباهتی بین این دو مرحله با دو مرحله ی تصفیه بیولوژیکی با کمک باکتری های هوازی وجود دارد. همچنین در ضمن این فعل و انفعالات، برخی مواد پروتئینی تبدیل به اسیدهای آلی و گاز اس هاش دو می شوند.

لجن حاصل از این مرحله بسیار بد بو و چسبنده است، به سختی ته نشین می شود و به سختی آب خود را از دست می دهد. اگر به حال خود گذاشته شود، در دمای ١٥درجه مدت ٦ ماه طول می کشد تا مرحله ی دوم هضم لجن شروع شود. افزایش درجه دما مدت زمان نامبرده را به شدت کاهش می دهد.

مر حله ی دوم- تخمیر متانی یا تخمیر قلیایی

این مرحله با فعالیت گروه دیگری از باکتری های بی هوازی که به نام باکتری های بی هوازی متانی نامیده می شوند، آغاز می شود. در این مرحله، لجن حالتی خنثی تا کمی قلیایی با درجه ی اسیدی ٧ تا ٧.٥ به خود می گیرد و این محیطی است که باکتری های تولید کننده ی گاز متان به خوبی در آن زندگی می کنند. در مرحله ی دوم هضم لجن، بجز ترکیب های آلی کربن دار، ترکیب های آلی ازت دار نیز تجزیه می شوند و مقدار زیادی گاز متان ، گاز کربنیک و کمی گاز ازت تولید می شود.

مقدار کل گازی که از تجزیه های اشاره شده بدست می آید، به درجه ی دمای لجن بستگی دارد. نسبت گاز متان بدست آمده از هضم لجن فاضلاب شهری ٦٥ تا ٧٠ درصد و گاز کربنیک ٣٠ تا ٣٥ درصد کل گاز تولید شده است. همراه گازهای تولید شده در

مخزن های هضم لجن، نزدیک به یک درصد نیز گاز هیدروژن سولفوره تولید می شود که بجز آلوده سازی محیط زیست، خاصیت خورندگی شدیدی بر تأسیسات بعد از مخزن دارد. در صورتی که از گاز مخزن هضم لجن برای تولید انرژی استفاده می شود، باید پیش از مصرف آن، گازحذف شود.

افزایش درجه دما بجز کوتاه کردن مدت زمان هضم لجن، بر مقدار گاز تولید شده نیز می افزاید. باکتری های بی هوازی که در فرآیند هضم لجن فعالیت دارند، افزایش گرما برای زندگی آن ها مناسب است و باکتری های معمولی در دمای ۲۰ تا ٤۰ درجه بهتر زندگی می کنند.

در تکنیک هضم لجن تلاش می شود که مرحله ی اسیدی زودگذر باشد و فرآیند هضم لجن بیشتر به صورت متانی و در حالت قلیایی انجام گیرد. برای این کار باید به لجن خام ورودی مقداری لجن هضم شده اضافه کرد. باکتری های متانی خیلی در برابر تغییر ناگهانی دما حساسند. در صورت کاهش مقدار گاز تولیدی زیاد است. همچنین وجود مواد سمی ناشی از نمک های برخی فلزها، تمرکز آمونیاک و یا منیزیم در لجن نیز ممکن است موجب برگشت به حالت اسیدی شود.

گاز متان بدست آمده از هضم لجن دارای خاصیت سوزندگی زیاد و کمی کمتر از قدرت سوزندگی گاز طبیعی ویژه ی سوخت در شبکه های پخش گاز شهری است. بنابراین از این گاز در تصفیه خانه های کوچک و متوسط برای گرمایش تصفیه خانه و به ویژه گرم کردن منبع های هضم لجن استفاده می شود. در تصفیه خانه های بزرگ از این گاز برای به کار اندازی توربین های گازی و تولید برق استفاده می شود.

لجنی که مرحله ی هضم متانی آن انجام شده باشد، دارای رنگ قهوه ای مایل به سیاه است. بویی شبیه بوی خاک مرطوب را می دهد و باعث ناراحتی می شود، به خوبی آب خود را از دست داده و حجم آن به صورت چشم گیری کم شده است. خاصیت چسبندگی آن ناچیز شده و مقدار موجودات زنده در آن کاسته شده است.

نیترات سازی و نیترات زدایی

الف- نیترات سازی

اکسیداسیون مواد آلی فاضلاب در حالت هوازی در دو مرحله انجام می گیرد. مرحله ی اول مربوط به اکسیداسیون مواد آلی کربن دار بوده که از نخستین لحظه ی قرار گرفتن فاضلاب در مجاورت اکسیژن شروع و تا پیرامون روز بیستم ادامه دارد و مرحله ی دوم مربوط به اکسیداسیون مواد آلی ازت دار است که از روز اول شروع و از پیرامون روز دهم شدت پیدا کرده و مدت ها (تا نزدیک به دو تا سه ماه) ادامه خواهد یافت.این مدت زمان بستگی به دمای فاضلاب دارد.

نتیجه ی کار باکتری ها در مرحله ی دوم اکسیداسیون، تجزیه ی مواد آمونیاکی و تولید نمک های معدنی نیتریت ها و نیترات ها است. از این رو، این مرحله به نام آمونیاک زدایی و یا نیترات سازی نامیده می شود. باکتری هایی که در مرحله ی دوم روی مواد آلی ازت دار تأثیر می کنند یک خانواده ی ویژه ای از باکتری های بی هوازی هستند که به نام باکتری های نیترات ساز نامیده می شوند. معمولاً در تصفیه خانه ها برای تبدیل هر کیلوگرم ازت آمونیاکی به نیترات، ۳/٤ کیلوگرم اکسیژن نیاز می شود.

وجود ترکیبات نیترات ها در فاضلاب تصفیه شده گرچه به علت پایدار بودن آن ها دلیل آلودگی فاضلاب تصفیه شده نیستند، ولی به علت اینکه خاصیت غذایی زیادی دارند موجب می شوند که ورود آن ها به منبع های آب، رشد و تکثیر گیاهان آبزی مانند جلبک ها و آلک ها به شدت افزایش یابند. به عبارت دیگر با کمک نور خورشید و عمل فتوسنتز و فعالیت میکروارگانیسم های مختلف، مواد معدنی نامبرده دوباره تبدیل به مواد آلی گیاهی می شوند.

**مرگ و نابودی این گیاهان آبزی موجب آلودگی دوباره ی منبع های طبیعی آب می شود. همچنین در صورت نفوذ فاضلاب تصفیه شده به زمین، مقدار نیترات های آب های زیرزمینی افزایش می یابد و استفاده از این آب ها را برای مصرف های شهری تولید مشکل می کند. بنابراین در تصفیه خانه های فاضلاب شهری نباید تنها به تبدیل مواد آلی ازت دار به مواد معدنی (نیترات سازی) اکتفا کرد، بلکه باید به گونه ای این ترکیبات ازت دار را از فاضلاب دور ساخت. این کار به نام نیترات زدایی نامیده می شود.**

**ب- نیترات زدایی یا ازت زدایی**

**در تصفیه خانه های فاضلاب که با روش هوادهی کار می کنند، معمولاً نزدیک به ۵ تا ۱۰ درصد از کل ترکیبات ازت دار موجود در فاضلاب توسط لجنی که از استخرهای ته نشینی نخستین برداشت می شود و نزدیک به ۱۰ تا ۲۰ درصد توسط لجن بدست آمده از استخرهای ته نشینی نهایی کاسته می شود.**

**در صورتی که وجود ترکیبات ازتی باقی مانده در فاضلاب از نظر حساسیت منبع های طبیعی آب زیان بخش تشخیص داده شود، با توجه به محلول بودن آن ها باید با کمک استخرهای ویژه ای و در محیطی بدون وجود اکسیژن محلول در فاضلاب، کار نیترات زدایی انجام گیرد. در این استخرها با کمک خانواده ی ویژه ای از باکتری های بی هوازی و با احیاهای پی در پی، نخست نیترات به نیتریت و سپس به گاز ازت تبدیل شده از مجموعه بیرون می رود.**

**در اینجا لازم به ذکر است که باکتری های نیترات زدا برای فعالیت خود نیاز به مواد کربن دار دارند. مواد کربن دار در فاضلاب در مرحله ی اول اکسیداسیون از میان می روند. بنابراین عمل نیترات زدایی یا باید پیش از مرحله ی اول اکسیداسیون انجام گیرد و یا اگر استخر نیترات زدایی پس از مرحله ی یکم اکسیداسیون قرار دارد، باید مواد کربنی مانند متانول به آن افزود. برای صرفه جویی در مصرف متانول، می توان مقداری از لجن بدست آمده از استخر ته نشینی نهایی را به استخر نیترات زایی برگشت داد.**

**این فرآیند ممکن است به صورتی ناقص در استخرهای ته نشینی نهایی که مدت زمان توقف فاضلاب در آن ها زیاد انتخاب شده باشد نیز خود به خود رخ دهد. در این صورت بیرون آمدن گاز ازت موجب بالا آمدن دوباره ی لخته های لجن به سطح استخر شده، عمل ته نشینی را مختل می سازد.**

**بجز روش بیولوژیکی، می توان با روش شیمیایی و تعویض یون نیز گاز ازت را از فاضلاب بیرون آورد، ولی این روش ها به علت پیچیدگی و هزینه ی فراوان در تصفیه خانه های فاضلاب شهری به ندرت مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین می توان با کمک افزایش کلر و رسیدن به نقطه ی شکست آن، مقدار ۸۰ تا ۹۵ درصد کل ازت موجود در فاضلاب را به صورت گاز ازت از مجموعه خارج ساخت.**

**ج- فسفات زدایی**

**فسفات ها نیز مانند نیترات ها مواد غذایی خوبی برای رشد گیاهان هستند. به دلایل مشابه نیترات ها، وجود زیاد فسفات ها نیز در فاضلاب تصفیه شده ممکن است در برخی موارد خوشایند نباشد. فاضلاب های شهری معمولاً دارای حدود ۸ تا۱۰ میلی گرم در لیتر ترکیبات فسفردار هستند که دست کم یک تا ۳ میلی گرم در لیتر آن عملاً در ضمن فرآیند بیولوژیکی و بدون هیچگونه عملیات اضافی از فاضلاب گرفته می شود. حتی در برخی از تصفیه خانه ها ۵۰ تا۹۰ درصد آن خود به خود در فرآیند بیولوژیکی کاسته می شود. بنابراین در بیشتر تصفیه خانه ها عملیات ویژه ای برای کاهش ترکیبات فسفردار پیش بینی نمی کنند.**