اصول و مبانی
تصفیه فاضلاب و پسابهای صنعتی

بنام خدا

افزایش جمعیت توام با توسعه صنعتی و اقتصادی دنیا در قرن اخیر مشکلات زیادی را برای زندگی بشر بوجود آورده که از جمله به آلودگی محیط زیست میتوان اشاره نمود. آلودگی در ابعاد مختلف خود نه تنها امکان زندگی در محیطی سالم را برای بشر محدوده نموده بلکه با تغییرات عمقی که در وضعیت آب و هوا پدید آورده استمرار و موجودیت حیات روی کره زمین را زیر سوال برده است .

در دو دهه گذشته به حفظ محیط زیست و جلوگیری از تخریب آن توجه زیادی شده است . کنفرانس استکهلم در سال 1972 آلودگی و تخریب محیط زیست را بزرگترین خطری که جامعه بشری را تهدید می نماید معرفی نمود. درکنفرانس UNCED که در سال 1992 و ۲۰ سال پس از کنفرانس استکهلم تشکیل و بنام " کنفرانس زمین " معروف گردید، تقریباً همه کشورهای دنیا متعهد گردیدند که در حفظ محیط زیست بطور جدی تلاش و این کره خاکی را برای نسلهای آینده حفظ نمایند

از جمله این تعهدات حفظ منابع آبی و احداث تصفیه خانه های فاضلاب برای تصفیه آبهای آلوده میباشد که طی یک برنامه زمانبندی شده در طول زمان معینی باید اجرا گردد.

زدودن و حذف آلودگیهای مایع و جامد ناشی از فعالیت روزمره انسان تا اوایل این قرن همواره به طبیعت واگذار میگردید ولی بعلت ازدیاد کیفیت و افزایش کمیت این آلودگیها دیگر نمیتوان از طبیعت انتظار این امر را داشت و باید با بوجود آوردن سیستمهای لازم سرعت این فعل و انفعالات طبیعی را چند برابر نمود.

آلودگی آب علاوه بر اینکه باعث نشر بسیاری از بیماریهای مختلف میشود سلامت و کیفیت منابع محدود آب تمیز را نیز تحت تاثیر قرار داده و در بلند مدت صدمات زیادی را بر پیکره توسعه اقتصادی و اجتماعی جامعه وارد میسازد. در مقابل با استفاده از روشهای مناسب تصفیه فاضلابها نه تنها میتوان بهداشت جامعه را بهبود بخشید بلکه با بازیابی پساب تصفیه شده و مصرف مجدد آن پاره ای از بی آبیها نیز قابل جبران میگردد.

از این جهت بازیافت فاضلابها و پسابهای صنعتی تصفیه شده ، بخصوص در کشورهائی که دچار کم آبی یا بی آبی هستند اهمیت خاصی پیدا نموده و این روش در حال حاضر در ایران نیز مورد توجه قرار گرفته و بسیاری از صنایع کشور در بازیابی پسابهای صنعتی بمنظور افزایش تولید و ایجاد شرایط و فضای توسعه اقدام می نمایند.

اصولاً یکی از ارکان مهم توسعه پایدار در بخش صنعت جلوگیری از آلودگیهای ناشی از فعالیتهای صنعتی (بخصوص فاضلابهای صنعتی) و تصفیه فاضلابها با روشهای مناسب و با استانداردهای قابل قبول در جهت استفاده مجدد و باز یافت آب است .

تعریف فاضلاب و پساب صنعتی

بطور کلی آب آلوده یا فاضلاب به آبی گفته میشود که دراثر مصرف و ورود مواد خارجی تغییر کیفیت پیدا نموده بصوریکه برای مصرف قبلی غیرقابل استفاده شده است .
لذا آبهای آلوده را بسه گروه میتوان تقسیم نمود :

۱- **هرزآبهای سطحی ...** مثل سیلابها و یا آبهای روان سطحی که با شستن سطح زمینها و ورود مواد محلول و یا جامد آلوده شده و در نتیجه نوعی " آب آلوده " تشکیل میگردد.
شسته شدن زمینهای کشاورزی توسط سیلابها و آب باران معمولاً همراه با ورود بقایای سموم دفع آفات و کودهای شیمیائی به آب میباشد که در سالهای اخیر مشکلات زیادی بوجود آورده و از جمله باعث بالارفتن غلظت نیترات در آبهای زیرزمینی و یا بوجود آمدن پدیده " اوترافیکاسیون " (Utrification) (رشد بیرویه جلبکها) در رودخانه ها ، دریاچه ها و تالابها شده است .
بعنوان مثال یکی از منابع مهم آلودگی تالاب انزلی که از مهمترین اکو سیستمهای کشور محسوب میشود، هرز آبهای آلوده به کودهای ازته و فسفات ها (اوره ..) میباشد که در مزارع گیلان مصرف میگردند و به تالاب وارد شده و باعث رشد بی رویه گیاهان و جلبکها شده و حیات تالاب را به مخاطره انداخته است.
باران های اسیدی نیز نوعی دیگر از آبهای آلوده محسوب میشوند.
در اثر مصرف سوختهای فسیلی و انتشار گازهای حاصله در اتمسفر و حل شدن بعضی از این گازها از قبیل اکسیدهای گوگرد SOX و اکسیدهای ازت NOX در رطوبت اتمسفر عامل بوجود آمدن و بارش بارانهای اسیدی گردیده که خسارات و زیانهای بسیار زیادی در مناطق صنعتی کشورهای غربی بوجود آورده . اگر چه هنوز به بارانهای اسیدی لفظ " آب آلوده " اطلاق نشده ولی آلودگی ناشی از این پدیده اثر زیادی بر آب دریاچه ها و اکولوژی آنها و جنگلهائی که در معرض دریافت بارانهای اسیدی بوده اند گذاشته است بطوریکه این امر از معضلات کشورهای صنعتی و یا در حال صنعتی شدن محسوب میشود.

۲- پسابهای صنعتی (Industrial Wastewaters):

که در اثر فعالیتهای صنعتی و یا از منابع صنعتی و در طول مراحل مختلف تولید بوجود می آیند و بعضاً خطرناک ترین نوع فاضلابها را تشکیل میدهند.
تقریباً هیچ صنعتی بدون استفاده از آب نمیتواند ادامه حیات بدهد و آب مصرف شده بهمراه مواد زائد سربار تولید تشکیل پساب را داده و باید بنحو مناسب تصفیه و سپس دفع گردد.
با توجه به تنوع بسیار زیاد مواد شیمیائی مصرفی در صنعت و کاربرد روشهای گوناگون در تولید ، کیفیت آلودگی پسابهای صنعتی بسیار متنوع بوده و بستگی زیادی به صنعت مربوطه دارد مثلاً در صنایع فلزی ، فرایند تولید یا پوشش قطعات فلزی ، مقدار زیادی پسابهای آلوده به فلزات سنگین از قبیل مس ،کادمیوم ، نقره ، جیوه ، کرم و یا نیکل ایجاد می گردد که این عناصر از خطرناک ترین عوامل آلاینده محسوب شده و اثرات ژنتیکی و یا سرطانزائی آنها بر انسان به اثبات رسیده .
(جدول شماره ۱ نمودار مصرف آب بعضی از واحدهای صنعتی میباشد).

۳- فاضلاب شهری (Sewage)

فاضلاب شهری معمولاً به ترکیبی از فاضلابهای خانگی و فاضلاب مراکز موسسات اداری و تجاری و صنعتی درون شهری (کارگاه ها) و مراکز خدماتی از قبیل بیمارستانها ، صنایع کوچک ، ادارات و غیره گفته میشود که توسط شبکه مخصوصی جمع آوری و به محل تصفیه خانه و یا محل دفع نهائی هدایت میگردد.

این فاضلاب معمولاً بطور عمده از فاضلابهای خانگی (فاضلابهای بهداشتی) تشکیل یافته که از فعالیتهای انسانی نتیجه میشود (دستشوئی ها - دوش - آشپزخانه ها و ...) و از ۹۹/۹ ٪ آب و ۰/۱ مواد جامد تشکیل شده است . فاضلاب خانگی ترکیبی از مواد زائد و مواد دفع شده

توسط انسان و ترکیبات شیمیائی مصرفی از قبیل مواد پاک کننده ، دترژانتها و غیره است که بصورت محلول و یا نامحلول در فاضلاب یافت شده و همان ۰/۱ درصد مواد جامد یا ناخالصی آب را تشکیل میدهد.

عمل تصفیه فاضلاب برای حذف، و جداسازی و یا تغلیظ همین جامدات محلول که بصورت مواد آلی و بعضاً معدنی وارد آب شده اند صورت میگیرد.

ترکیب تقریبی فاضلاب خانگی را بصورت شکل شماره ۱-۱ میتوان نشان داد.

تصفیه فاضلاب و پسابهای صنعتی

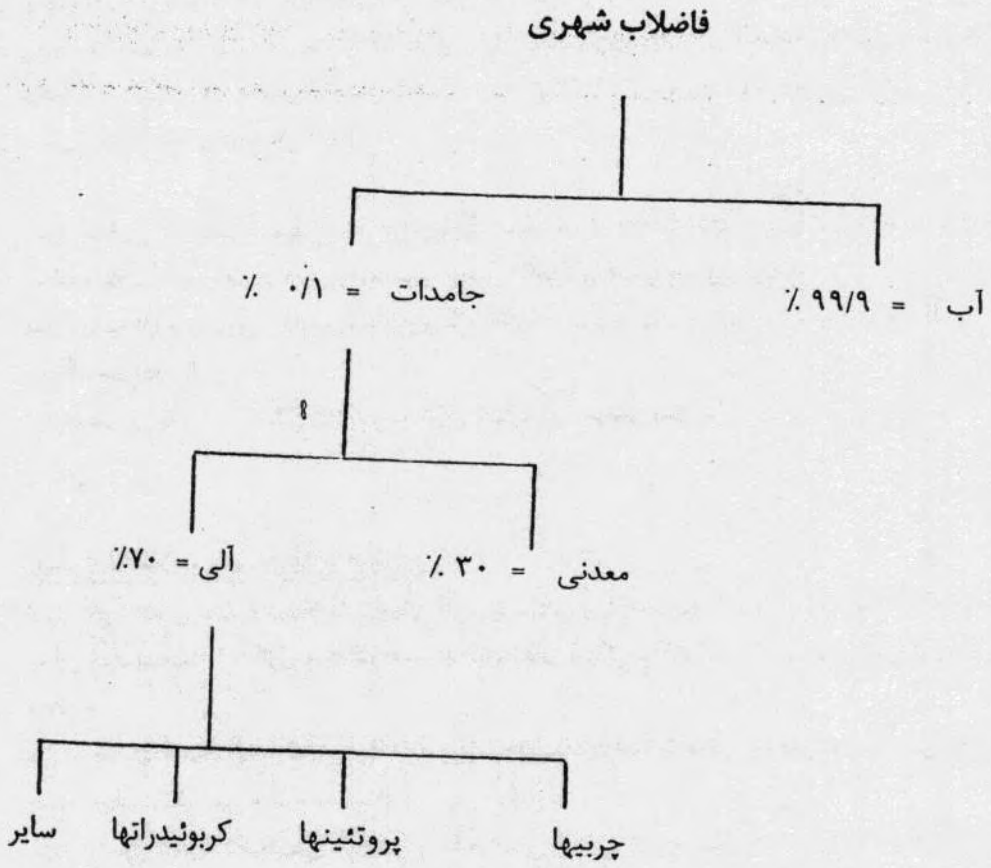
اصول بکار رفته در تصفیه فاضلابها و آبهای آلوده بر مبنای جداسازی مواد آلوده کننده جامد از آب میباشد. در بسیاری از موارد که این مواد بصورت نا محلول و شناور هستند با روشهای فیزیکی و یا ترکیبی از روشهای فیزیکی - شیمیایی این عمل انجام میگیرد.

ولی در صورتیکه مواد آلوده کننده جامد بصورت محلول باشند ابتدا با اعمال روشهای شیمیائی و بیولوژیکی این مواد تجزیه و یا بصورت جامد شناور در آمده و سپس از آب جدا میگردند.

بنابراین اصول تصفیه فاضلابهای شهری و یا صنعتی تلفیقی از روشهای جداسازی فیزیکی و شیمیائی و یا فرایندهای بیولوژیکی است که بنابر نوع و کیفیت و کمیت آلودگی بکار گرفته میشود.

در سالهای اخیر اهمیت بیشتری به روشهای بیولوژیکی داده شده است زیرا این روشها که از موجودات زنده ذره بینی برای تجزیه و یا جذب مواد شیمیائی استفاده میکنند اثرات جانبی کمتری داشته و معمولاً ضایعات کم خطرتر و بی اثرتری از خود بجا میگذارند.

با استفاده از اصول بیولوژیکی پرورش میکروارگانیزمهائی که دارای توانائیهای مخصوصی برای مقاومت در برابر سموم و یا تجزیه موادی که "غیرقابل تجزیه" تشخیص داده شده اند تحت پژوهش قرار داشته و بعضاً امکان پذیر گشته (مثل میکروارگانیزمهائی که قابلیت تجزیه موتد فنلی یا مواد نفتی را دارا هستند) و این زمینه از فعالترین و امیدوار کننده ترین بخشهای تحقیقاتی در زمینه حفظ محیط زیست محسوب میگردد.



شکل شماره ۱-۱ ترکیب تقریبی فاضلاب شهری

جدول شماره (۱) – مصرف آب در بعضی از صنایع

	مقدار مصرف آب بر حسب لیتر (حدودا)	واحد تولید
صنایع غذائی		
تولید قند	30,000	هر تن چغندر مصرف شده
نوشابه سازی	2-6	هر یک لیتر نوشابه
لبنیات	2-8	هر یک لیتر شیر
گوشت	6-35	هر یک کیلوگرم گوشت زنده
کشتارگاه	7-10	هر یک کیلو گوشت زنده
سبزیجات	10-800	هر صندوق ۲۴ تائی
صنایع سلولزی - نساجی		
رنگ رزی الیاف-نساجی	30 - 100	هر کیلو الیاف
چرم سازی - سبک	100- 200	هر جلد پوست گوسفند
چرم سازی - سنگین	500 -600	هر جلد پوست گاو
کاغذ سازی	8000 - 40000	هر تن کاغذ
چوب (خاک اره)	16000 - 24000	هر تن چوب
صنایع فلزی		
اتومبیل سازی	10000 - 40000	هر دستگاه اتومبیل
آلومینیوم سازی	240000	هر تن
تولید مس	1000 - 20000	هر تن
فولاد	3200 - 12000	هر تن
پتروشیمی		
تصفیه نفت (پالایشگاه)	4000 - 12000	هر بشکه نفت خام

فصل دوم - کیفیت فاضلاب

نوع آلودگی

همانگونه که ذکر گردید ، آلودگی آب در اثر تغییر وضعیت و یا ورود مواد خارجی به آب صورت میگیرد و بنابراین با توجه به نوع ماده آلاینده آلودگی قابل ارزیابی خواهد بود. به این ترتیب آلودگی میتواند فیزیکی ، شیمیائی و یا بیولوژیکی و بصورت محلول و یا نامحلول باشد.

آلودگیهای فیزیکی

اهم این نوع آلودگی عبارتند از :

درجه حرارت آب

این عامل باعث نامتعادل شدن محیط پذیرنده (اکو سیستم) شده و دگرگونیهای نامطلوبی ایجاد میکند.
درجه حرارت زیاد معمولاً مربوط به تخلیه هرز آبهای صنعتی در محیط میباشد. مثل هرز آب مربوط به برجهای خنک کن نیروگاهها (Cooling Towers) و بعضی دیگر از صنایع بزرگ .

مواد معلق و شناور و کدورت

مواد معلق و شناور Suspended Solids (و یا S.S) مواد نامحلول از نوع معدنی یا آلی میباشند. وجود این مواد باعث کدورت و تیره گی آب شده و ورود آنها به آبهای پذیرنده باعث تشکیل لجن در رودخانه ها ، دریاچه ها و ... میشود.
در بسیاری از موارد رنگ آب مربوط به وجود مواد معلق در آن میباشد.
غلظت مواد معلق S.S در فاضلابهای شهری در حدود ۲۵۰ - ۲۰۰ میلیگرم در لیتر است .

آلودگیهای شیمیائی (مواد محلول)

این آلودگیها میتوانند معدنی یا آلی (ارگانیک) باشند. آلودگیهای معدنی از قبیل اسیدها و بازهای معدنی و یا نمکهای آنها مشکلات زیادی در فاضلابهای شهری ایجاد نمیکنند ولی در بعضی از پسابهای صنعتی نقش مهمی دارند.
" باقیمانده تبخیر" یا " کل املاح" یا TDS - Total Dissolved Solids نشان دهنده کل املاح محلول اعم از آلی یا معدنی در فاضلاب میباشد. این رقم در فاضلابهای شهری با توجه به کیفیت آب مصرفی در حدود ۵۰۰ الی ۲۰۰۰ میلیگرم در لیتر است .

آلودگیهای آلی (ارگانیک)

عمده ترین آلودگی در اثر ورود مواد آلی به آب صورت میگیرد. این مواد در آبهای پذیرنده باعث رشد میکروارگانیزمها و کاهش غلظت اکسیژن محلول در آب شده و پدیده آلودگی را ایجاد می نمایند.
اگر چه باید توجه داشت که فعل و انفعالات واقعی بسیار پیچیده تر از این واکنش میباشند ولی کاهش اکسیژن را میتوان بطور خلاصه بصورت واکنش زیر نشان داد:

میکروارگانیزمها + $CO_2 + H_2O$ → میکروارگانیزمها + اکسیژن + مواد آلی

آلودگیهائی که در فاضلاب میباشند از مواد آلی مختلفی تشکیل شده اند در نتیجه در تعیین غلظت آنها واحد بخصوصی را نمیتوان بکار برد ولی چون در تجزیه آنها چه بطریق شیمیائی و چه بوسیله میکروبها معمولاً اکسیژن بکار برده میشود به این جهت غلظت آلودگی را بر حسب اکسیژن مورد نیاز بیان میکنند. مثلاً اگر برای تجزیه یک گرم در لیتر از پساب بخصوصی ۰/۵ گرم اکسیژن بکار برده شود اصطلاحاً میگویند غلظت این پساب ۰/۵ گرم در لیتر یا ۵۰۰ میلی گرم در لیتر بوده است که بر حسب اکسیژن مورد نیاز بیان میشود.

برای بیان اکسیژن مورد نیاز نیز واحدهای مختلفی مورد استفاده قرار میگیرند که مهمترین آنها بشرح زیر میباشند:

Theoretical Oxygen Demand یا Th.O.D یا اکسیژن مورد نیاز تئوریکی:

مقدار اکسیژنی که از نظر تئوری برای اکسیداسیون مقدار معینی ماده آلی مورد نیاز است و از طریق فرمول شیمیائی واکنش اکسیداسیون محاسبه میشود ، اکسیژن مورد نیاز از نظر تئوری نامیده میشود ، مثلاً در مورد اکسیداسیون کربوهیدراتها مثل گلوکز :

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6H_2O$$

180 gr . carbohydrate ↔ 192 gr. O_2

1.1 gr. O_2 per gr. carbohydrate

به این ترتیب برای تجزیه یک گرم گلوکز طبق رابطه فوق ۱/۱ گرم اکسیژن لازم است در نتیجه Th.O.D محلول یک گرم در لیتر گلوکز، ۱۱۰۰ میلیگرم در لیتر اکسیژن خواهد بود. ولی این واحد فقط در مواردی قابل استفاده است که فرمول شیمیائی ماده آلی در دست باشد و این حالت در پسابهای صنعتی و یا فاضلاب خانگی امکان پذیر نیست و بنابراین این پارامتر فقط از نظر تئوری بکار برده میشود.

اکسیژن مورد نیاز شیمیائی C.O.D.

حال اگر مقدار اکسیژن مورد نیاز برای اکسیداسیون کامل ماده آلی از طریق انجام آزمایش شیمیائی تعیین گردد به آن اکسیژن مورد نیاز شیمیائی (Chemical Oxygen Demand) و به اختصار C.O.D گفته میشود.

در صورتیکه ماده آلی دریک محیط اسیدی و در مجاورت یک اکسید کننده قوی قرار داده شود ، تجزیه شده و از مقدار اکسیژن مصرف شده غلظت مواد آلی مشخص میشود.

C.O.D کمتر از Th.O.D میباشد چون معمولاً فقط 95- 90٪ مواد آلی اکسید شده و تجزیه میشوند (در شرایط آزمایشگاهی).

این روش قبلاً به نام P.V یا Permanganate Value (چون پرمنگنات ماده اکسید کننده مصرفی بوده) نامیده میشد و بعدها که از دایکرومات پتاسیم بعنوان اکسید کننده قوی استفاده شد به D.V یا Dichromate Value نیز نامیده شد.

اگر چه در حال حاضر کمتر از پرمنگنات برای انجام آزمایش COD استفاده میشود ولی چنانچه آزمایش COD با این ماده انجام بگیرد حتماً باید قید گردد چون تفاوت قابل ملاحظه ای با COD اندازه گرفته شده با روش دایکرومات خواهد داشت.

پارامتر COD از مهم ترین پارامترهای بیان کننده کیفیت آنها و فاضلاب ها میباشد ولی باید توجه داشت که هنوز تفسیر اطلاعات بدست آمده از آزمایش COD دارای نکات مبهمی است که باید مورد توجه قرار بگیرد ، از جمله :

۱- بعضی از مواد شیمیائی مثل سولفیدها ، سولفیت ها ، تیوسولفات ها ، نیتریت ها و املاح فرو (آهن دو ظرفیتی) بوسیله دایکرومات اکسید شده و بنابراین اصطلاحاً COD غیرآلی (معدنی) ایجاد میکنند و این امر بعضاً در محاسبات مربوطه اشتباه ساز میگردد.

۲- کلرورها در آزمایش COD اشکال ایجاد نموده و اشتباهاً ارقام COD زیادی در اثر اخلال کلرور نشان داده میشود، لذا ضروریست اثر کلرورها را بوسیله افزودن سولفات جیوه خنثی نمود.

۳- استفاده از املاح نقره بعنوان کاتالیست واکنش بسیار موثر بوده و در رسوب سازی کلرور نیز مهم میباشد.

۴- زمان واکنش شیمیائی برای اندازه گیری COD معمولاً ۱ الی ۱/۵ ساعت است در حالیکه باید ترجیحاً بیش از ۲ ساعت باشد و زمان ۷ ساعت خطای کمتری را نشان خواهد داد. (شکل شماره اثر زمان واکنش را نشان میدهد) در سالهای اخیر از روش Cuvet (کووت) نیز استفاده شده است که زمان واکنش را به ۱۵ تا ۳۰ دقیقه کاهش داده است و اصول آن همان روش دایکرومات میباشد.

Biochemical Oxygen Demand – B.O.D یا اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیائی

C.O.D میزان آلودگی و یا میزان اکسیژن مصرفی برای اکسید کردن مواد آلی از طریق شیمیائی را نشان میدهد، ولی تجزیه مواد آلی در طبیعت ، از طریق اکسیداسیون بیولوژیکی و توسط میکروارگانیزمها صورت میپذیرد. بنابراین برای تعریف مقدار ماده آلی از "B.O.D"

(بی اودی و اصطلاحاً "باد") استفاده میشود که می توان آنرا " اکسیژن مورد نیاز باکتریها برای تجزیه مواد آلی " تعریف نمود.

در حقیقت " باد " (BOD) مقدار اکسیژن مصرفی میکروارگانیزمها برای اکسیداسیون ماده ارگانیک میباشند.

چون باکتریها دارای قابلیت محدودی بوده و فعالیت آنها بستگی بزمان و درجه حرارت دارد ، (چون فعالیت متابولیکی آنها در درجه حرارت های مختلف فرق میکند) در نتیجه واحد BOD را در ۲۰C و در ۵ روز بیان میکنند که آنرا بصورت $B.O.D_5$ نشان میدهند.

مدت لازم برای تجزیه کامل مواد آلی تجزیه شونده بسیار بیشتر از ۵ روز و معمولاً در حدود ۲۱ روز میباشد لذا مقدار اکسیژن مصرف شده بیشتر و BOD بیشتری را نشان خواهد داد و در آنصورت به آن BOD نهائی یا BODu میگویند. (BODu یا BOD Ultimate)

باید در نظر داشت که میکروارگانیزمها ابتدا اکسیداسیون مواد کربنه را انجام داده و این بخش از "باد" بنام " باد کربنه " معروف میباشد ، "Carbonaceous BOD" و سپس تجزیه مواد ازته صورت میگیرد که به آن " باد ازته " Nitrogenous BOD گفته میشود.

$$NH_3 + O_2 \rightarrow NO_2 + O_2 \rightarrow NO_3$$

کینتیک تجزیه مواد آلی در آزمایش " باد " شبیه واکنشهای درجه اول شیمیائی تعریف شده است که ضریب ثابت بیولوژیکی در آن رابطه تابع دما میباشد. (به روابط ریاضی توجه شود)

$$Y = S\,(1-10)^{-kt} + Sn\,(1-10)^{-k't}$$

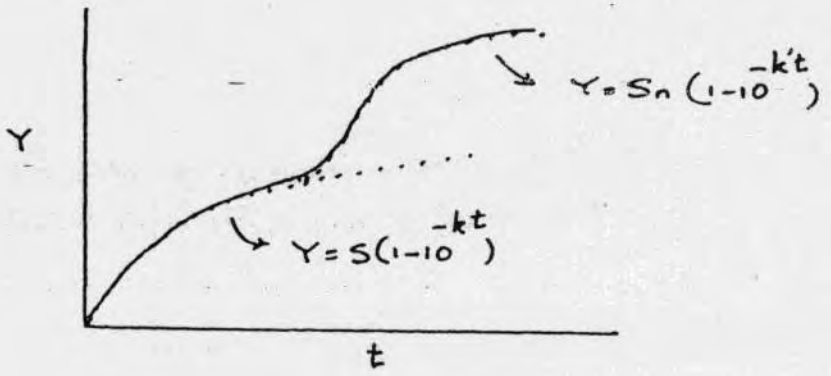
Y = Total BOD

S = Carbonaceous BODu

ابتدا کربن

سپس ازته می شود!

t = Incubation period
Sn= Nitrogenous BODu
k = Biological constanct
k' = Biological constanct



$K = K_{20} \times \theta^{T-20}$ $\theta = 1.056 - 1.132$

بنابراین میتوان نتیجه گرفت که :

$Th.O.D > \begin{matrix} C.O.D \\ \| \end{matrix} > B.O.D.u > B.O.D_5$

مثلاً در مورد محلول یک گرم در لیتر گلوکز (بر حسب میلیگرم در لیتر)

Th.O.D = 1100 mg per lit
C.O.D = 1000 : : :
$B.O.D._U$ = 900 : : :
$B.O.D_5$ = 750 : : :

بطورکلی رابطه مشخصی را نمیتوان در بین پارامترهای فوق که در مورد تمام فاضلابها و پسابهای صنعتی صادق باشد بدست آورد.

در مورد فاضلاب شهری :

$BOD_5 / C.O.D = 0.5$
$BOD_u / B.O.D_5 = 1.5$

و باید در نظر داشت که هر چقدر نسبت COD/BOD_5 به ۱ نزدیک تر باشد، قابلیت تصفیه پذیری فاضلاب (و یا تجزیه پذیری بیولوژیکی پسابهای صنعتی) بیشتر میباشد.

کربن آلی T.O.C. یا "Total Organic Carbon"

بدلیل نیاز به زمان طولانی برای اندازه گیری COD (حداقل ۱ الی ۲ ساعت در آزمایش استاندارد) و اندازه گیری BOD (۵ روز در روش آزمایش استاندارد) از مقدار کربن آلی TOC ، برای تعیین غلظت فاضلابها و بخصوص پسابهای صنعتی استفاده میشود. مبنای آزمایش TOC حرارت دادن نمونه و اکسیداسیون کربن آلی به گاز CO_2 و اندازه گیری غلظت این گاز در ابتدا و انتهای آزمایش میباشد. این روش توسط دستگاه های خاص که بنام "TOC Analyzer" معروف میباشند بسرعت و در مدت چند دقیقه (یا حتی ثانیه) مقدار کربن آلی محلول را اندازه گرفته و بنابراین ابزار مناسبی برای کنترل کیفیت پسابهای خروجی از کارخانه ها میباشد.

(در کارخانه پلی اکریل اصفهان اندازه گیری TOC کنترل کننده وضعیت پسابهای خروجی است و بنا براین مقدار کربن آلی محلول بطور مرتب و اتوماتیک اندازه گیری میشود) .

باید توجه داشت که رابطه بین TOC و مقدار اکسیژن مورد نیاز(BOD , COD) وجود نداشته و این امر فقط بستگی به نوع ماده آلی دارد.

مثال :

دو نمونه پساب هر دو دارای TOC = 12 mg /lit هستند. نمونه اولی دارای متان و نمونه دومی دارای اسید استیک است تعیین کنید غلظت COD تئوری (Th.O.D.) هر یک را با فرض آنکه صد در صد مواد آلی اکسید میشوند :

۱- نمونه ای که دارای متان است :

یک مول متان دارای ۱۲ گرم کربن است بنابراین پساب که دارای ۱۲ میلی گرم در لیتر یا گرم در مترمکعب متان است باید دارای یک مول متان باشد:

رابطه استویکیومتری اکسیداسیون متان عبارتست از :

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

$$1mole \leftrightarrow 2 \times 32 = 64 \ gr\ O2$$

بنابراین COD تئوری(که در حقیقت همان Th.O.D. است) این پساب باید 64 mg /lit باشد.

$$COD = 64 \quad g/m^3 \quad or \quad mg/lit$$

۲- نمونه ای که دارای 12 g/m^3 یا 12 mg/lit اسید استیک است .

اسید استیک CH_3COOH دارای ۲ مول کربن و بنابراین هر مول اسید، ۲۴ گرم کربن خواهد داشت ، و چون در نمونه فقط ۱۲ گرم کربن مشخص شده بنابراین محلول دارای نیم مول اسید استیک بوده است .

$$1/2CH_3COOH + O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

$$1/2mole \leftrightarrow 32 \ gr \ O2$$

$$COD = 32\ mg.lit \ or \ gr.m^3$$

بنابراین محلولی که دارای نیم مول در لیتر اسید استیک است دارای معادل ۳۲ گرم در مترمکعب (یا میلیگرم در لیتر) COD تئوری خواهد بود.

بنابراین همانگونه ملاحظه میگردد نسبت TOC و اکسیژن مورد نیاز فقط مرتبط با نوع مواد آلی است .

این نسبت برای بعضی از مواد آلی بشرح زیر تعیین شده است .

ماده آلی	ترکیب	درصد کربن	Th.O.D (gr)	BOD_5 ($gr.O_2$) per gr. substance
استون	C_3H_6O	62	2.21	0.54
اسید استیک	C_2H4O_2	40	1.07	0.7
اسیدسیتریک	C_6H3O_7	37	0.75	0.46
گلوکز	$C_6H_{12}O_6$	40	1.07	0.64

جدول یک شود

کیفیت و غلظت پسابهای صنعتی

در مورد پسابهای صنعتی ، معمولاً غلظت پساب را بوسیله ماده آلوده کننده می سنجند مثلاً در مورد پساب کارگاههای آبکاری ، مشخص نمودن COD و یا BOD اهمیت ندارد و عوامل آلودگی در این نوع پساب فلزات سنگین (مس ، کادمیوم ، کرم ، نیکل و ....) و یا املاح دیگری مثل سیانورها و ... میباشند.

لذا در آنالیز کیفی پسابهای صنعتی عوامل مربوطه باید اندازه گیری و تعیین گردند.

با این وجود بخش عمده پسابهای صنعتی نیز دارای آلودگیهائی هستند که توسط مواد آلی ایجاد شده (محلول یا نامحلول) و بر حسب COD و BOD که مهمترین شاخص آلودگی میباشند مشخص میشوند. از این جهت شاخص های BOD & COD بیان‌کننده کیفیت فاضلاب و غلظت آنست و حتی باعث میشود تا بتوان پساب صنعتی را با فاضلاب شهری مقایسه نمود.

جدول زیر بطور عام فاضلابها را از نظر غلظت تقسیم بندی مینماید.

غلظت فاضلاب	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)
رقیق	۲۰۰ یا کمتر	۴۰۰ یا کمتر
متوسط	۳۰۰	۶۰۰
غلیظ	۵۰۰	۱۰۰۰
خیلی غلیظ	۷۵۰ یا بیشتر	۱۵۰۰ یا بیشتر

بار آلودگی سرانه

یکی دیگر از پارامترهائی که در مورد طرح سیستم های فاضلاب و بیان میزان آلودگی بکار برده میشود ، " BOD_5 سرانه " است . این واحد مقدار BOD (آلودگی) تولید شده توسط یک فرد در روز را نشان میدهد که البته این مقدار نسبت به موقعیت جغرافیائی و عادات و سنن مردم ناحیه (عادات مربوط به تغذیه) متفاوت میباشد ولی بطور متوسط هر نفر در روز در حدود ۵۰ گرم BOD تولید می نمایند.

این رقم بطور متوسط در زامبیا ۳۶ گرم در جنوب شرقی آسیا ۴۳ گرم در امریکای شمالی ۷۵ گرم و در انگلستان ۵۵ گرم گزارش شده است .

فاضلاب صنعتی را نیز بسیاری از اوقات بر حسب معادل سرانه بیان میکنند . مثال :

کارخانه‌ای در روز ۴۰۰۰ مترمکعب پساب با غلظت متوسط BOD_5 = 800 mg/l ایجاد مینماید اگر برای هر نفر در روز ۵۰ گرم BOD5 در نظر گرفته شود ، معادل سرانه تولید فاضلاب (بار آلودگی) این کارخانه بصورت زیر محاسبه میشود :

گرم "باد" $۴۰۰۰ \times ۸۰۰ = ۳,۲۰۰,۰۰۰$

نفر معادل سرانه $۳,۲۰۰,۰۰۰ : ۵۰ = ۶۴,۰۰۰$

سایر پارامترهای آلودگی

علاوه بر COD,BOD مواد معلق وشناور SS عوامل وپارامترهای دیگری نیزبرای بیان مشخصات ومیزان آلودگی فاضلابها بکاربرده میشود بعنوان مثال "چربی و روغن" (Oil& Grease) از پارامترهائی است که اثر مهمی در روش تصفیه ایجاد میکند و در نتیجه مشخص نمودن غلظت آن میتواند بسیار مهم تلقی شود. مثلا در پساب صنایع لبنیات و یا کشتارگاه ها در صورت وجود چربی و روغن زیاد ، واحد چربی گیری باید پیش بینی شود.

در انتخاب فرایند تصفیه و میزان ازت آلی که بنام ازت کجلدال معروف است و ازت آمونیاکی و فسفر بر حسب فسفات در فاضلابها نیز مهم میباشند زیرا فسفر و ازت از مواد مغذی ضروری برای رشد بیولوژیکی محسوب میشوند و در ضمن باعث رشد جلبکها و گیاهان آبزی در آبهای پذیرنده شده و به این ترتیب موجب تخریب آب دریاچه ها و تالابها میگردند .

فلزات سمی از قبیل کرم ،کوبالت ، مس و .... و ترکیباتی از قبیل فنل ها و دترژانت ها (MBAS- Methylene Blue Active Substance) نیز از عوامل دیگری در بار آلاینده پسابها و فاضلابها بشمار میروند.

وجود بعضی از ترکیبات مثل سولفیدها (S) باعث کند شدن واکنشهای بیولوژیکی شده و تولید بوی تعفن ایجاد میکنند که و در نهایت فرایند تصفیه را با مشکل مواجه میسازند.

جدول ضمیمه غلظت بعضی از فاضلابهای صنعتی را نشان میدهد.

(کپی نمونه آزمایشاتی که در آزمایشگاهها بر روی فاضلابها و پسابهای صنعتی انجام میگیرد ضمیمه است).

کمیت فاضلاب و پسابهای صنعتی

در طراحی سیستم های تصفیه فاضلاب ، کمیت نقش بسیار مهمی را ایفا میکند. جریان حجمی فاضلاب و نوسانات آن در طول روز برای مشخص نمودن شبکه جمع آوری و تصفیه خانه بسیار مهم میباشد. بخش عمده ای از آب مصرف شده در منازل و مراکز خدماتی و صنایع تبدیل به فاضلاب شده و به این ترتیب حجم فاضلاب تابع جمعیت و فعالیتهای آن منطقه میگردد. به این ترتیب فاضلاب سرانه مناطق مسکونی شهری معمولا شامل ۸۵ - ۸۰ درصد فاضلابهای خانگی (مناطق مسکونی) و حدود ۲۰ - ۱۵ درصد فاضلاب عمومی (مراکز خدماتی - تجاری - صنعتی) میگردد. فاضلاب سرانه در ایران از حدود ۱۲۰ الی ۳۰۰ لیتر در روز متغیر و متفاوت میباشد و تا حدود زیادی تابع توسعه یافتگی منطقه ، وجود مراکز صنعتی و خدماتی و بالاخره سطح رفاهی خانواده ها میباشد. جدول زیر این رقم را با سایر کشورها مقایسه می نماید :

کشور	متوسط فاضلاب سرانه (روزانه)
انگلستان	۱۸۰ لیتر نفر
آلمان	۱۶۰ لیتر نفر
امریکا	۳۶۰ لیتر نفر
استرالیا	۲۰۰ لیتر نفر
ایران	۱۸۰ لیتر نفر

در سالهای اخیر تلاش زیادی برای کاهش حجم فاضلاب های خانگی (Domestic Sewage) و مراکز خدماتی (بیمارستانها ، اصناف ، صنایع کوچک و ...) بوده وبخصوص درکشورهای اروپائی حجم فاضلاب سرانه دراثر اعمال سیاستهای صرفه جوئی رو به کاهش بوده است .

در مورد فاضلابهای صنعتی ، روشهای مختلفی در کشورهای غربی اعمال میشود در غالب کشورهای اروپائی ، فاضلابهای صنعتی در واحد تولیدی مربوطه تحت "پیش تصفیه" Pre - Treatment قرار گرفته وسپس به شبکه فاضلابهای شهری پیوسته و نهایتا" همراه با فاضلاهبای شهری تصفیه میشوند. در بعضی از مناطق بدلایل مختلف که بطور عمده ناشی از مسائل اقتصادی است ، فاضلابهای صنعتی بطور مجزا تحت تصفیه قرار میگیرند و از روش "سیستم تصفیه مشترک" (مخلوط پسابهای صنعتی + شهری) احتراز شده است .

بهر صورت در این موارد علاوه بر مباحث فنی - شامل تصفیه پذیری فاضلاب صنعتی ، وجود مواد مضر و مسموم ، مسائل اقتصادی نهایتا" وضعیت را مشخص می نمایند.

به این ترتیب برای طرح سیستم های تصفیه فاضلاب علاوه بر داشتن اطلاعات کافی نسبت به نفرات ، جمعیت ، تعدد مراکز خدماتی صنعتی ، نحوه فعالیت مراکز فوق ، وضعیت توسعه و رشد جمعیت نیز حائز اهمیت است .

طبیعی است که معمولا" سیستمهای تصفیه فاضلاب و شبکه های جمع آوری باید حداقل با توجه به وضعیت ۱۵ سال و یا ۳۰ سال آینده طراحی و مورد استفاده قرار بگیرند.

شدت جریان فاضلاب یا پسابهای صنعتی

همانطوریکه کیفیت فاضلاب مهم میباشد ، کمیت آن نیز اهمیت زیادی دارد و در حقیقت دو عامل کیفیت و کمیت میزان آلایندگی فاضلاب را مشخص میسازند و بدون در نظر گرفتن این عوامل طرح تصفیه خانه غیر ممکن میباشد. همچنین برای طراحی شبکه فاضلاب نه تنها میزان فاضلاب مهم است بلکه تغییرات شدت جریان در ساعات مختلف روز و یا حتی روزهای مختلف سال باید در دست باشد تا بتوان سیستم جمع آوری و شبکه را طرح و تعیین نمود.

در اغلب صنایع شدت جریان فاضلاب یکنواخت نیست و چون تابعی از فعالیتهای مختلف در کارخانه میباشند بنابراین در ساعات مختلف میزان مختلفی از پساب جاری میگردد. مثلا" در صنایع نساجی ، مقدار زیادی فاضلاب در زمان تخلیه مخازن رنگرزی جاری میگردد در حالیکه در مواقع دیگر فاضلاب کارخانه بسیار اندک میباشد. حتی در بعضی از صنایع ، در روزهای مختلف نیز دبی حجمی فاضلاب تغییر میکند و گاهی نیز در ماه های مختلف فصلهای مختلف این تغییرات عمده دیده میشود. بعنوان مثال کارخانجات قند غالبا" در فصل پائیز که فعالیت اصلی خود را دارند ، پساب زیادی ایجاد میکنند . بسیاری از کارخانجات دیگر نیز بهمین صورت دارای فاضلابهائی هستند که از نظر کیفی و کمی دارای نوسانات زیادی است .

شدت جریان فاضلاب های خانگی نیز دچار این نوسانات میباشد. این نوسانات که تا حدودی نیز به آداب و رسوم میتواند بستگی پیدا کند تقریبا" در تمام جوامع شهری دیده میشود. بعنوان مثال روزهای اول هفته ، روزهای شستشو میباشد. پس جریان فاضلاب بیشتر از روزهای دیگر میباشد. در ساعات ۶ تا ۸ صبح و یا ۶- ۴ بعد از ظهر ، بدلیل شستشو و استحمام میزان فاضلاب از سایر ساعات روز پر حجم تر است در حالیکه این کمیت در ساعات نیمه شب به حداقل خود میرسد.

همچنین در روزهای بارانی بعلت نفوذ آبهای سطحی به مجاری فاضلاب ، دبی حجمی افزایش می یابد.

بنابراین با درنظر گرفتن کلیه عواملی که درفوق به آن اشاره شدبرای طراحی شبکه های فاضلاب ، و طراحی بسیاری از واحد های تصفیه خانه ، از پارامتری استفاد میگردد که به آن D.W.F (Dry Weather Flow) یا جریان متوسط در روزهای خشک گفته میشود. این کمیت میزان متوسطی است که معمولاً بر حسب مترمکعب در روز نشان دهنده دبی فاضلاب میباشد. علاوه بر این پارامتر مقدار حداکثر جریان یا Peak (و یا ماکزیمم دبی که معمولاً برحسب لیتر بر ثانیه تعریف میشود) و همینطور حداقل جریان نیز در طراحی شبکه مهم میباشند. برای شهرهای بزرگ مقدار " Peak " جریان فاضلاب در حدود ۲ - ۱/۵ برابر جریان D.W.F و برای مناطق مسکونی کم جمعیت - شهرک ها = مجتمع های مسکونی - جریان Peak تا حدود ۶ برابر D.W.F نیز میرسد. طبیعی است که این پارامترهای در تعیین اندازه و شیب لوله های جمع آوری فاضلاب موثر میگردند و لذا محاسبه دقیق آنها در طراحی شبکه فاضلاب حائز اهمیت است . در مورد فاضلابهای صنعتی نیز اطلاعاتی مربوط به نوسانات جریان در طرح سیستم تصفیه و محاسبه و انتخاب واحدهای مختلف نیز اساسی و ضروری است .

اندازه گیری شدت جریان

بدلایل ذکر شده در فوق اندازه گیری شدت جریان نیز از اهمیت خاصی برخوردار است . برای طرح تصفیه خانه فاضلاب کارخانجات اطلاعات کافی راجع به دبی این فاضلاب و جریان حداکثر و جریان متوسط باید در دست باشد. ولی متاسفانه در غالب کارخانجات مصرف دقیق آب و میزان فاضلاب روزانه مشخص نیست و لذا از اولین وظایف مهندس طراح تعیین خصوصیات کیفی و کمی پساب صنعتی میباشد.

معمولاً فاضلاب در کانالهای روباز و گاهی نیز در لوله ها جریان دارد و بندرت تحت فشار پمپ میباشد بلکه غالباً جریان پساب بصورت ثقلی (Gravity Flow) است . برای اندازه گیری دبی از روشهای زیر میتوان استفاده کرد :

۱- استفاده از میزان آب مصرفی

چنانچه آب قابل مصرف در کارخانه معین باشد - مثلاً از طریق کنتور آب و یا از طریق آبدهی پمپ ها و یا از طریق پروخالی شدن منابع هوائی ذخیره آب و... میتوان آب مصرف شده را تعیین نمود. مقدار فاضلاب را نیز میتوان از مقدار آب مصرف شده تخمین زد. طبیعی است که در پاره ای از موارد تمام آب مصرف شده در فاضلاب دیده نمی شود بلکه از طریق مصرف آبیای - بخار هدر رفته و تبخیر و ... نیز مصرف میگردد. لذا باید دقت نمود که دقیقاً چه درصدی از آب مصرف شده تبدیل به پساب گردیده است .

۲- استفاده از روشهای حجمی یا وزنی

چنانچه مقدار فاضلاب خیلی زیاد نباشد با قراردادن ظرفی مثل بشکه زیر لوله خروجی پساب ، میتوان شدت جریان را اندازه گرفت . بعنوان مثال اگر بشکه در طول ۱۰ دقیقه پر شود و حجم آن ۱۸۰ لیتر باشد پس دبی فاضلاب ۱۸۰ × ۶ لیتر در ساعت خواهد بود. همچنین از طریق اندازه گیری زمان لازم برای پر شدن یک مخزن یا استخر میتوان جریان حجمی فاضلاب را تخمین زد.

۳- صفحه اریفیس Orifice Plate

این سیستم اندازه گیری معمولاً برای اندازه گیری سیال تحت فشار در لوله ها قابل اعمال است . اریفیس صفحه ایست که در وسط آن دایره ای خالی شده است . این صفحه در لوله نصب و چون عبور آب از این صفحه در نقطه سوراخ - خروج - ایجاد تغییر فشار می نماید، اختلاف فشار ایجاد شده نشان دهنده دبی آب در لوله است .

۴- لوله ونتوری Ventury Tube

این لوله نیز بسیار شبیه صفحه اوریفیس عمل میکند. قطعه لوله ایست که دارای گلوگاهی بوده و آب در اثر عبور از این گلوگاه دچار تغییر فشار میگردد. اختلاف فشار نشان دهنده شدت جریان است .

۵- کانال پارشال یا Parshall Flume

پارشال فلوم معمولاً قطعه کانالی است که بصورت پیش ساخته و یا ساخته شده از سیمان - در کانال فاضلاب ورودی به تصفیه خانه نصب میگردد. این کانال نیز بصورتی که در شکل فوق نشان داده شده است در نقطه ای محل گذر آب را محدود میکند و در نتیجه سطح آب در این نقطه بالا می آید. ارتفاع آب در این نقطه (که در رابطه فوق بشکل H نشان داده شده است) مقدار فاضلاب را بر حسب فوت مکعب در ثانیه و یا مترمکعب در ثانیه مشخص میسازد.

کاربرد این سیستم برای اندازه گیری شدت جریان و منحرف ساختن جریان فاضلاب در واقع جریان حداکثر Peak بسایر واحدهای تصفیه خانه بسیار زیاد است و در اکثر تصفیه خانه های شهری - در موقع ساخت تصفیه خانه کار گذاشته شده و نصب میگردد.

شکل ضمیمه پارشال فلوم و روابط آنرا نشان میدهد.

۶- استفاده از سرریز Weir

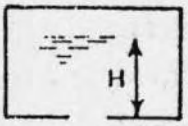
سرریز یا Weir صفحه ایست که قطعه ای از آنرا بشکل V و یا بشکل مستطیل جدا کرده اند . این صفحه که در مسیر فاضلاب قرار میگیرد باعث میشود آب در پشت آن جمع شده و از شکاف ایجاد شده خارج گردد. ارتفاع آب روی شکاف ، نشان دهنده مقدار و جریان حجمی آن میباشد که توسط روابط ریاضی تجربی مربوطه تعیین میگردد.

در شکل های ضمیمه دو نوع سرریز از نوع V شکل با زاویه ۹۰ درجه و از نوع مستطیلی نشان داده شده است .

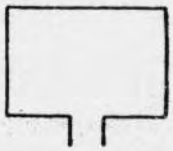
روابط ریاضی سرریزها بر حسب مترمکعب در ثانیه و بر حسب فوت مکعب در ثانیه جریان حجمی را تعیین میکند.

۷- روشهای محاسباتی - بخصوص رابطه Q = U x A

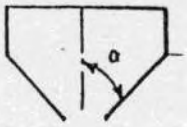
(A سطح مقطع لوله و بر حسب متر مربع M2 ، و U سرعت حرکت آب و معمولاً بر حسب m/sec و لذا Q شدت جریان بر حسب M3/sec تعیین میشود. اشکال عمده این روش در این است که معمولاً سطح مقطع حرکت آب در کانالها کاملاً مشخص نبوده و همچنین سرعت حرکت آب نیز به دقت لازم قابل اندازه گیری نیست .



C = 0.632



C = 0.966

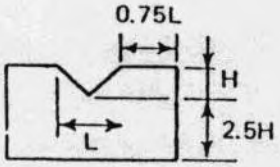


α =	67½°	45°	22½°
c =	0.684	0.753	0.882

$Q = cA\sqrt{2gH}$

Q = discharge, ft^3/s
c = constant
A = orifice area, ft^2
V = velocity, ft/s
g = acceleration due to gravity, $ft/s^2 = 32.2$
H = head, ft

A. ORIFICE

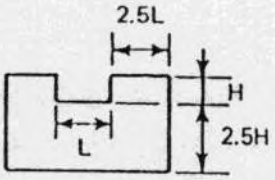


سرریز مثلثی

90° V Notch

$Q = 2.52H^{2.47}$

Q = discharge, ft^3/s
H = head, ft



سرریز مستطیلی

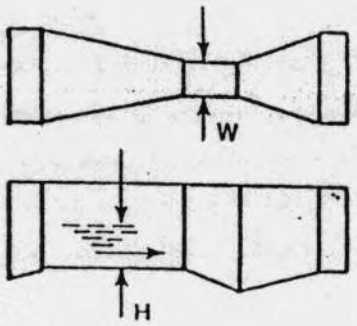
Rectangular Weir

$Q = 3.33\,LH^{1.5}$

Q = discharge, ft^3/s
H = head, ft
L = length of weir, ft

1. $H < 1/3\,L$
2. $0.5 < H < 2.0$
3. approach velocity less than 1 ft/s

B. WEIRS



$Q = 4WH^n$

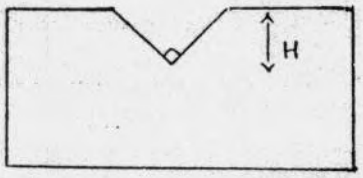
پارشال فلوم

C. PARSHALL FLUME

Q = discharge ft^3/s
W = throat width, ft
H = head, ft
$n = 1.522W^{0.026}$

Figure I . Formulas for flow measurement by various devices.

روش های مختلف اندازه گیری جریان ناضاب (و آب) در کانالهای روباز

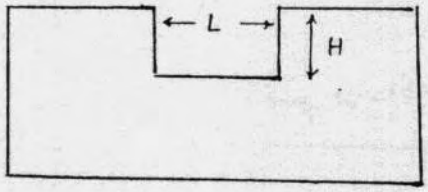


سرریز V شکل با زاویه 90°

$$Q = 1.4\ H^{2.5}$$

$Q = m^3/sec$

$H = m$

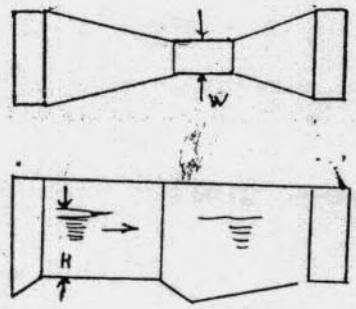


سرریز مستطیلی

$$Q = 1.84\ (L - 3.9\,H) \times H^{1.5}$$

$Q = m^3/sec$

$H\ ,L = m$



کانال پارشال

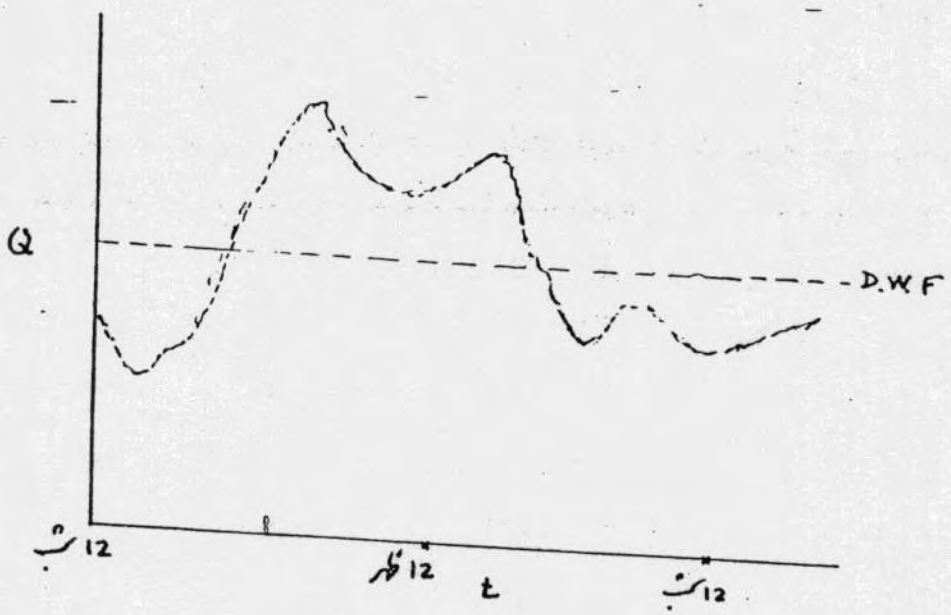
$$Q = 1.71\ W\ H^{1.5}$$

$Q = m^3/sec$

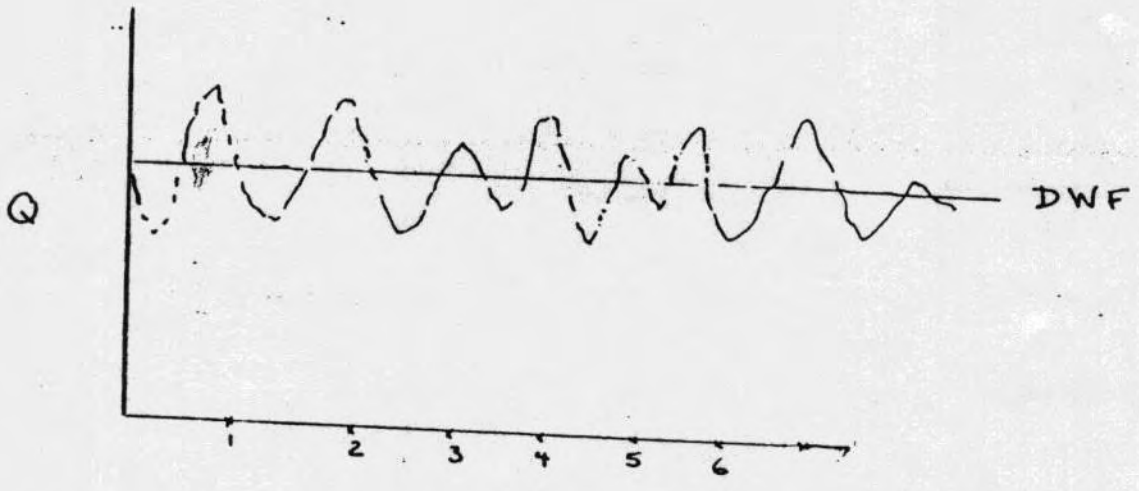
$W = m$

$H = m$

روابط سرریزها بصورت متریک (S.I.)



شکل نوسانات جریان فاضلاب شهری



شکل نوسانات جریان فاضلاب در روزهای مختلف

۸- استفاده از نوموگراف منیننگ

از طریق روابط ریاضی و یا دیاگرامهای Manning جریان آب در لوله های پر را میتوان محاسبه نمود. فرمول منینگ که در زیر نشان داده شده است و همچنین دیاگرام منینگ که یک نکمونه آن ضمیمه میباشد بطور وسیعی در طراحی شبکه های فاضلاب بکار برده میشود. در این روابط با در دست داشتن قطر لوله و شیب آن نیزان جریان حجمی را محاسبه نمود. این رابطه بصورت زیر نوشته میشود :

$$Q = \frac{1.486}{n}.A.R^{2/3}.S^{1/2}$$

$Q = ft^3/sec$ شدت جریان

$R=$ شعاع هیدرولیکی لوله - فوت

$A=$ سطح مقطع لوله (فوت مربع)

$S =$ ٪ شیب لوله

نوموگراف منینگ نیز از طریق این رابطه بدست آمده و بسادگی با در دست داشتن دو نقطه (مثلاً شیب لوله و قطر آن) سرعت جریان و دبی آب جاری در لوله مشخص میگردد. پارامتر n که در رابطه فوق نشان داده شده است نشان دهنده زبری یا اصطکاک در داخل لوله است . بعبارت دیگر برای لوله های سیمانی - قدیمی مقدار n در حدود 0.018 و برای لوله های PVC مقدار n در حدود 0.008 انتخاب میگردد (نوموگراف پیوست برای n متوسط یعنی 0.013 میباشد . از نوموگراف منینگ برای محاسبه شدت جریان در کانالها نیز استفاده شده است . در آنصورت معمولاً سرعت جریان آب از طریق رابطه منینگ که برای کانالهای رو باز است بطریق زیر محاسبه میگردد :

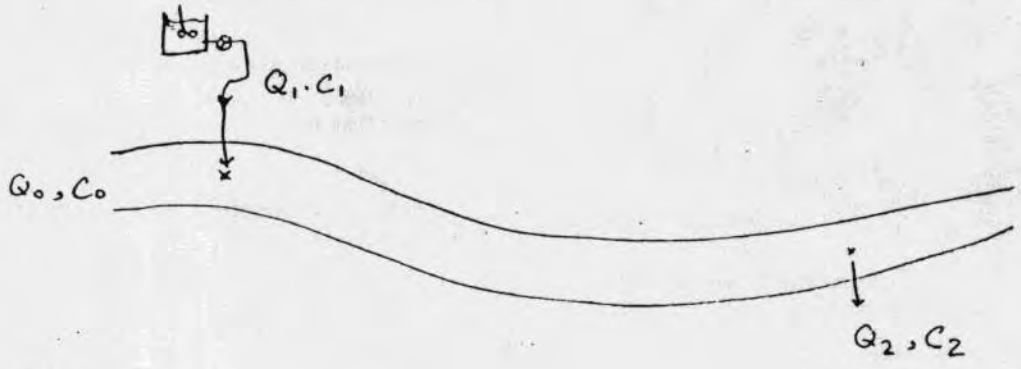
$$V = \frac{1.486}{n} m^{2/3}\ i^{1/2}$$

(که i همان s یعنی شیب و m شعاع هیدرولیکی است) و سپس با در دست داشتن سرعت ، دبی آب تعیین میگردد.

۹- استفاده از ردیاب یا Tracer :

برای مشخص نمودن نوع حرکت سیال در بستر خاصی ، و یا حتی شدت جریان آن از ردیاب یا Tracer استفاده میگردد. ردیاب میتواند رنگ - ماده رادیو اکتیو ویا ماده شیمیائی خاصی باشد این روش براین مبنا قرار گرفته که ماده خاصی در نقطه ای به جریان آب اضافه میگردد و در نقطه پائین دست غلظت آن اندازه گیری میشود ، مقدار رقیق شدن ماده (ردیاب) نشان دهنده شدت جریان آب است .

چنانچه Q_2,Q_1,Q_0 شدت جریان اب در نقطه بالادست ، شدت جریان ردیاب ، شدت جریان آب در نقطه پائین دست باشد و C_2,C_1,C_0 غلظت ردیاب در نقاط : قبل از تزریق ردیاب به جریان ، غلظت ردیاب ، و نقطه پائین دست در نظر گرفته شود ، طبق اصل بقای جرم :



$$Q_0 \times C_0 + Q_1 \times C_1 = Q_2 \times C_2 = (Q) + Q_1) C_2$$

$$Q_0 = \frac{Q_1(C_1 - C_2)}{(C_2 - C_0)}$$

در مورد استفاده از ردیاب حتماً باید زمان و مسافت لازم را در نظر گرفت تا ردیاب تزریق شده در لوله یـا نهـر یـا رودخانـه بطور یکنواخت رقیق شود و در تمام نقاط دارای یک غلظت باشد. این روش تا حدود زیادی انعطـاف پذیـر اسـت و حتـی بـرای اندازه گیری آب رودخانه نیز قابل استفاده است .

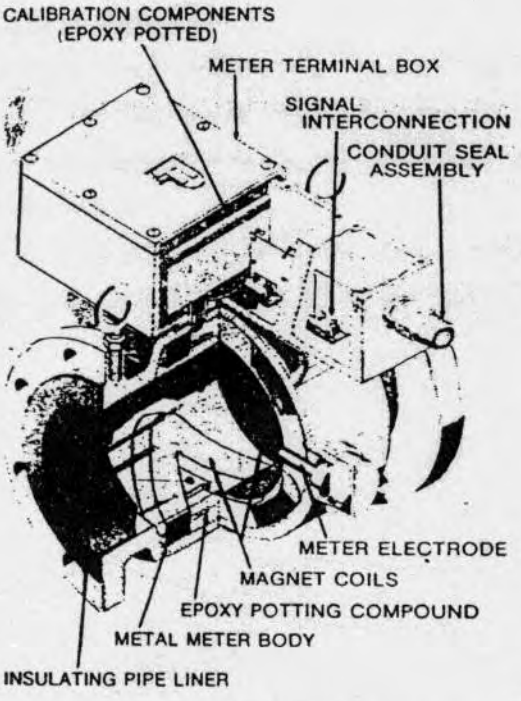
یک ردیاب خوب باید دارای خواص مناسبی باشد، در مسیر جریان واکنش شیمیائی انجام ندهد ، جذب گل و لای و یا دیـواره کانال رودخانه نگردد، بسادگی قابل تنظیم باشد و براحتی قابل اندازه گیری .

بعنوان مثال از کلرورلیتیوم LiCl و یا از کلرور سدیم NaCl میتوان بعنوان ردیاب استفاده نمود که این روزها بیشتر از ردیـاب های رادیو اکتیو استفاده میگردد.

برای تزریق ردیاب از پمپ های تزریقی و یا هر وسیله دیگری که بتواند جریان متعادل و یکنواختی در آب وارد سازد میتـوان استفاده نمود.

۱۰- روشهای اندازه گیری با ابزار دقیق

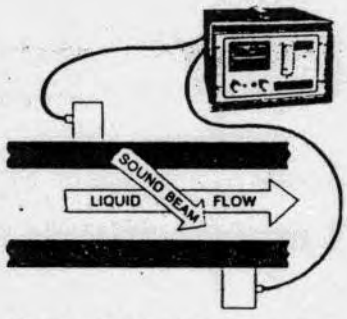
روشهای دیگری که با استفاده از اندازه کیری سرعت آب (کنتورهای پروانه ای) ، خواص الکترومغناطیسی (الکترو مگنتیک) ، انعکاس صوتی (اولتراسونیک) و ... بهره گرفته اند بصورت دستگاههائی که بمنظور اندازه گیری شدت جریان سـاخته شـده اند ، بکاربرده میشوند. این دستگاهها در تصفیه خانه هائی که بطور اتوماتیک عمل میکنند (معمولاً تصفیه خانه های بـزرگ) نقش موثری دارند و با دقت عمل زیاد و بصورت دائم و مستمر (On Line) شدت جریان را اندازه گـیری و ثبـت نمـوده ودر صورت لزوم فرمان جهت راه اندازی دستگاههای دیگر را صادر میکنند.



Courtesy of Fischer & Porter Company

Figure 1-28. Magnetic Flow Meter

فلومتر مغناطیسی



Courtesy of Controlotron Corporation

Figure 1-29. Transducer of an Ultrasonic Flow Meter

فلومتر اولتراسونیک

نوموگراف منینگ

MANNING FORMULA PIPE FLOW CHART

English/Metric Units

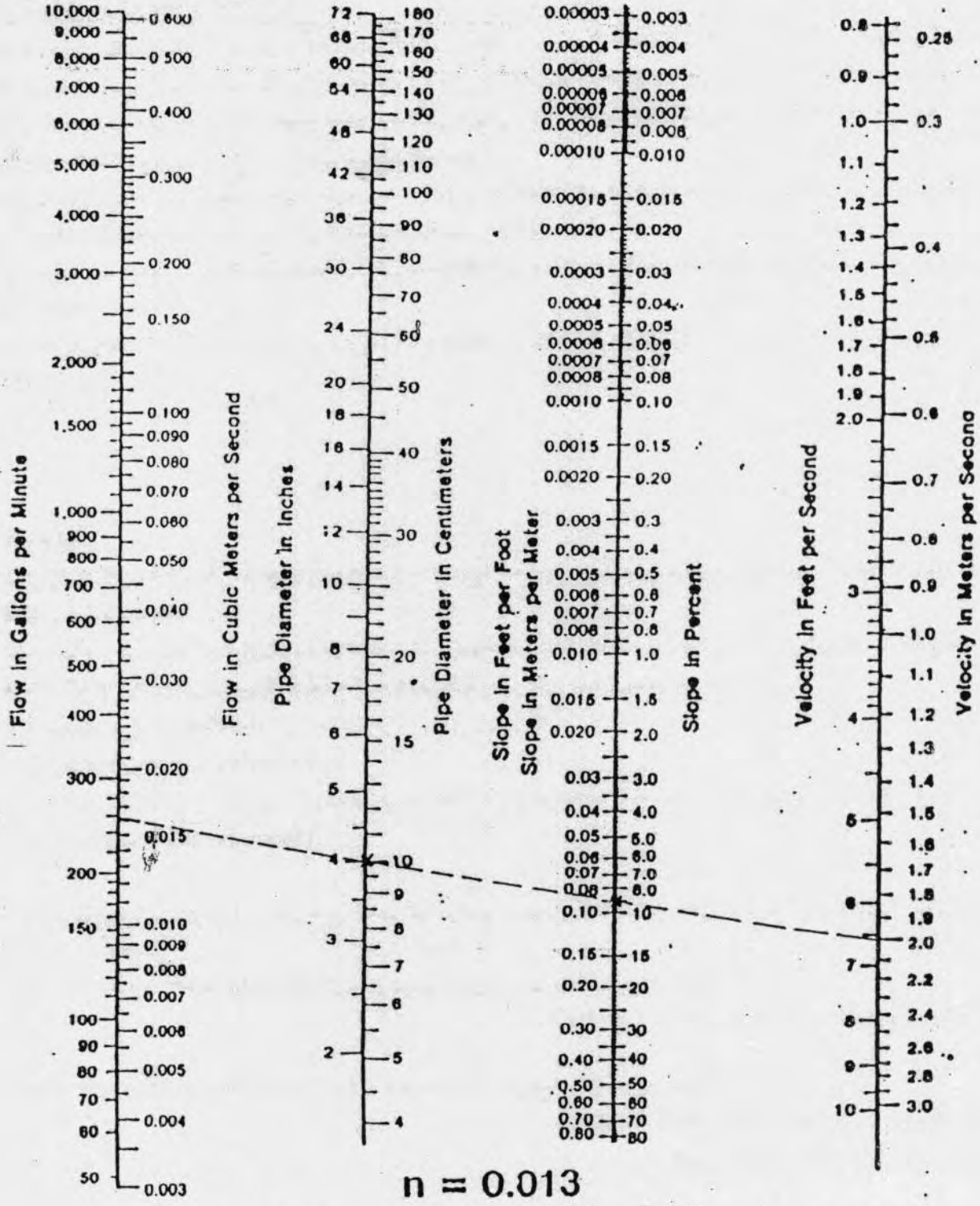


Chart based on the formula $Q = \frac{1.486}{n} \times AR^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$ for pipe flowing full.

مثال: لوله‌ای با قطر داخلی 10 cm با شیب 9% در نظر گرفته، حریانی با حجم ۱۶ لیتر در ثانیه و با سرعت ۲ متر در ثانیه از خود عبور می‌دهد.

باکتریولوژی آب و فاضلاب

مرحله دوم تصفیه فاضلاب مهم ترین مرحله زدودن آلودگی پسابهای صنعتی و فاضلاب میباشد. زدودن آلودگی پروسسی است که بوسیله میکربها انجام میگیرد. میکربها یا موجودات ذره بینی از باکتریها - جلبکها و قارچها و پروتوزوئر تشکیل شده اند. بعضی از میکربها مثل جلبکها را از خانواده گیاهان و بعضی دیگر مثل پروتوزئرها (مثل آمیب Amoebea) را از خانواده جانوران دانسته اند ولی بطور کلی حد فاصلی نمیتوان قایل شد.

بعضی از باکتریها و ویروس ها و پاره ای از پروتوزئرها " پاتوژن " میباشند که برای انسان بیماریزا و بسیار خطرناک میباشند و در حقیقت تصفیه فاضلاب برای جلوگیری از انتشار این قبیل پاتوژنها میباشد.

در ضمن نباید فراموش کرد که میکربها عوامل اصلی تصفیه فاضلاب میباشند و با استفاده صحیح ، میتوانند در خدمت بشر بکار گرفته شوند.

با توجه به اینکه بخش عمده موجودات ذره بینی در آب و فاضلاب را باکتریها تشکیل میدهند ، شرح بیشتری از این موجودات ارائه میشود.

باکتریها

باکتریها باشکال و اندازه های مختلف یافت میشوشند. باسیلها که بصورت لوله ای شکل میباشند بیشتر از دیگر انواع در فاضلاب دیده میشوند.

غالب آنها از تجزیه مود آلی انرژی لاز م برای ادامه حیات و سوخت و ساز(متابولیسم) خود را بدست می آورند و گروهی نیز هستند که از مواد معدنی نیز میتوانند تغذیه کنند باکتریها را بطور کلی بسه گروه میتوان تقسیم نمود :

- باکتریهای هوازی یا Aerobes
- باکتریهای غیرهوازی یا Anaorobes ،
- باکتریهای فاکولتاتیو یا " اختیاری " نی که هم در محیط اکسیژن میتوانند ادامه حیات بدهند و هم در محیطی که اکسیژن وجود ندارد (Facultative Bacteria) .

سیستم های هوازی عبارتند از سیستم هایی که در آنها میکربهای هوازی از اکسیژن محلول استفاده کرده و تولید سلولهای بیشتری مینمایند.

مثلا" تجزیه قند در شرایط هوازی (که باکتریهای هوازی عامل آن هستند) بشرح زیر میباشد:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

سیستم های غیرهوازی (یا ناهوازی و یا بیهوازی) در عدم اکسیژن مواد آلی تجزیه میشوند :

مواد آلی $\rightarrow$ اسیدهای آلی + $CO_2 + H_2O$ + انرژی

اسیدهای آلی $\rightarrow$ $CH_4 + CO_2$ + انرژی

مثلا" تجزیه قند در محیط غیر هوازی :

$C_6H_{12}O_6$ ---------- $3\,CH_4 + 3\,CO_2$

یعنی در حقیقت باکتریهای غیرهوازی در محیط مناسب تولید اسیدهای آلی و سپس تولید گاز متان می نمایند. امروزه این پروسس بعلت تولید انرژی (متان که بعنوان سوخت مصرف میشود) توجه زیادی پیدا نموده است .

میکروارگانیزمهای (باکتریها) هوازی - غیرهوازی و فاکولتاتیو را تحت عنوان گروهی بنام هتروتروف که گاهی نیز به آنها ساپروفیت Saprophyte نیز میگویند نام میبرند . این گروه میکرب هائی هستند که فقط قادر به استفاده مواد آلی میباشند. در مقابل آنها گروهی دیگر از باکتریها تحت نام باکتریهای اتوتروف Autotroph هستند که از مواد معدنی نیز میتوانند تغذیه نمایند. این گروه از CO_2 بعنوان منبع کربن استفاده میکنند و معروفترین آنها نیتروسوموناو نیتروباکتر هستند که در تجزیه آمونیاک و نیترات ها و تولید گاز ازت در سیستم های تصفیه بیولوژیکی فعال میباشند.

$$NH_3 + Oxygen \xrightarrow{Nitrosomonas} NO_2 + \text{انرژی}$$

$$NO_2 + Oxygen \xrightarrow{Nitrobacter} NO_3 + \text{انرژی}$$

بغیر از هوا (اکسیژن) رشد و تکثیر باکتریها بعوامل دیگری نیز بستگی دارد. غذای اصی باکتریها مواد آلی کربنه است ولی به ازت و فسفر نیز احتیاج میباشد. در مرحله بعد نیاز باکتریها به گوگرد ، پتاسیم و آهن و بعضی از فلزات مثل سدیم ، منگنز ، کلسیم و منیزیوم و ... زیاد است و این عناصر در سوخت و ساز باکتریها نقش دارند.

حرارت نیز یکی دیگر از عوامل اصلی در فعالیت باکتریها میباشد و معمولاً هر نوع باکتری بخصوصی در درجه حرارت مشخصی حداکثر فعالیت را از خود نشان میدهد. از نظر فعالیت بهینه باکتریها در درجه حرارت های متفاوت باکتریها را به ۴ گروه تقسیم میکنند :

باکتریهای کرایوفیل	Cryophiphils	5 - 5 C
باکتریهای سایکروفیل	Psychrophils	5 - 20 C
باکتریهای مزوفیل	Mesophils	20 - 45 C
باکتریهای ترموفیل	Thermophils	45- 55 C

تعداد محدودی از باکتریها در محیطهای اسیدی و قلیائی میتوانند دوام بیاورند و کلاً در PH 5-9 زنده میمانند ولی غالباً در پی اچ 6 - 5 فقط میتوانند بفعالیت خود ادامه بدهند و تکثیر شوند.

باکتریهای پاتوژن مثل پاراتیفوئید _ (دیسانتری) اسهال خونی - وبا - شبه وبا - از جمله باکتریهایی هستند که بوسیله آب آلوده منتشر میشوند.

باکتریهای کالیفرمی Coliform Bactreria این گروه باکتریهائی هستند که بوفور در مدفوع انسان و بدن موجودات (انسان - حیوان) یافت میشود و هر انسان در روز در حدود ۲۰۰ میلیون باکتری کالیفرمی از خود دفع مینمایند.

چون این باکتریها غالباً از انسان و یا سایر حیوانات میباشند در نتیجه پیدایش آنها در آب نشان دهنده آلودگی آب میباشد.گروهی از باکتریهای کالیفرمی را بنام Eshrishia Coli و اصطلاحاً بنام E - Coli مینامند. در صورتیکه E-Coli

در آبی یافت شود هر چقدر که آن آب تمیز باشد آلوده تلقی شده و حتماً باید ضد عفونی گرد. چون شناسائی باکتریهای E-Coli ساده میباشد و وجود آنها در آب امکان آلوده بودن آن آب به پاتوژن ها را میرساند بنابراین یکی از شاخص های مهم آلودگی میباشد.

خود باکتریهای E-Coli تا چندی پیش خطرناک تلقی نمیشدند و تنها خطر آنها انتقال مقاومت از یک نسل باکتری به نسل دیگر بود که در نتیجه باعث پرورش پاتوژنهائی میشوند که در مقابل بسیاری از داروها و آنتی بیوتیکها مقاومت دارند. در سالهای اخیر بعضی از عفونتها به باکتریهای E-Coli نسبت داده شده اند.

E-Coli و انواع آب در تصفیه آب اثری ندارند و تنها نقش آنها بعنوان شاخص آلودگی (میکروبیولوژیکی) آب تصفیه شده میباشند.

باکتری ها از طریق تقسیم دوتائی Binery Fision تکثیر میشوند در نتیجه در یک سیستم آماده (که همه امکانات رشد و تکثیر وجود داشته باشد) تعداد آنها بسرعت زیاد میشود.

منحنی رشد باکتریها در شکل زیر دیده میشود . در این منحنی چهار مرحله منفک برای رشد و تکثیر باکتریها در نظر گرفته شده که عبارتند از :

مرحله تاخیری (Lag Phase) ، فاز رشد لگاریتمی (Log. Phase)، فاز ثابت (Stationary Phase) و بالاخره فاز مرگ (Death Phase).

در صورتیکه محیط برای رشد باکتریها آماده باشد پس از زمان کوتاهی که بنام فاز تاخیر معروف میباشد باکتریها بزودی شروع بتکثیر میکنند و بسرعت تکثیر میشوند. پس از زمان محدودی رشد آنها بعلت :

۱- تمام شدن مواد غذائی .

۲- تولید مواد شیمیائی مسموم کننده متوقف میشود. سپس برای مدتی تغییری در آن انجام نمیگیرد (فاز ثابت) و پس از مدتی مرگ شروع میشود . منحنی رشد و تکثیر باکتریها بسیار مهم میباشد و در بسیاری از پروسس ها مصارف زیادی دارد.

ویروسها : موجودات ذره بینی بخصوصی که از مواد آلی و معدنی برای تغذیه استفاده میکنند بصورت انگل باکتریها میباشند و روی باکتریها زندگی کرد و از سیستم های تولید مثل باکتری استفاده کرده و تکثیر میشوند و در این صورت غالباً باکتری قبول کننده از بین میرود. بنابراین به ویروسها " باکتریوفاژ " گفته میشود.

بسیار ریزتر از باکتریها هستند (0.02 -0.2 Milli- Micron) و بسیاری از آنها بصورت ملکول های شیمیائی بحالت پایدار باقی میمانند در نتیجه بصورت غیرفعال برای سالیان دراز بحیات خود ادامه میدهند.

ویروس ها عامل بسیاری از بیماریهای خطرناک مثل فلج (POLIO) آبله و ... شناخته شده اند.

جلبکها : جلبک (Algae) موجودات ذره بینی چند سلولی میباشد که قادر به انجام عمل فتوسنتز است:

$$6\,CO_2 + 12\,H_2O \xrightarrow{\text{جلبک}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

دی اکسید کربن بعنوان منبع کربن مورد استفاده قرار گرفته و سلولهای جدید همراه گلوکز سنتز میشوند. این یکی از بزرگترین و مهم ترین پروسس های طبیعی میباشند که در حقیقت حیات را ممکن ساخته است .

ولی در تاریکی جلبک ها نیز احتیاج به اکسیژن برای تنفس و مواد کربنه برای تغذیه دارند. رشد جلبکها بمیزان بسیارزیادی به ازت و فسفر محلول در آب بستگی دارد و گاهی در دریاچه هائیکه فاضلاب تصفیه شده را دریافت میکنند بعلت مواد غذائی

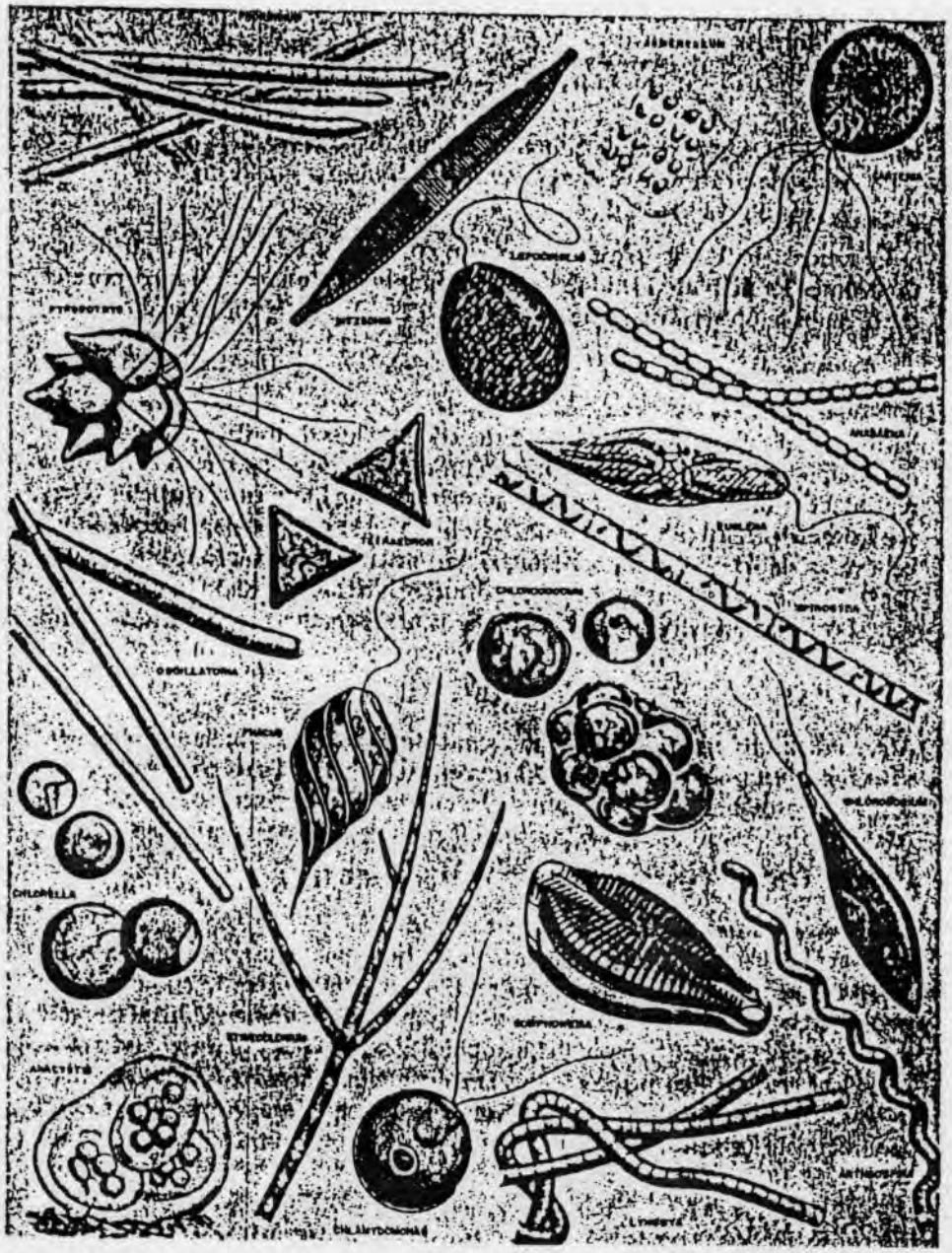


Figure 2.8 Algae commonly found in stabilization ponds and poliuted waters [From C. M. Palmer, *Algae in Water Supplies*, US Public Health Service, Washington (Publication 657), 1962]

شکل ... : برخی از
جلبکهائی که در آبهای آلوده
دیده میشوند .

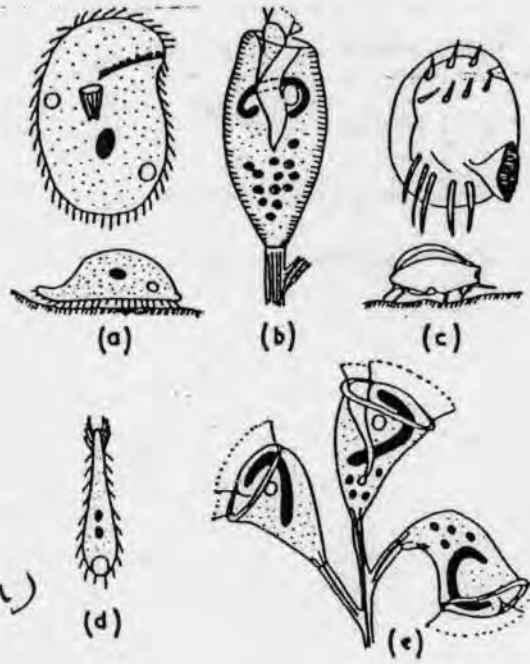


Figure 2.9 Five of the commonest ciliated protozoa found in sewage treatment works: (a) *Chilodonella uncinata*, (b) *Opercularia microdiscum*, (c) *Aspidisca costata*, (d) *Trachelophyllum pusillum* and (e) *Carchesium polypinum*: (a) and (c) are crawling ciliates, (b) and (e) stalked ciliates and (d) a free-swimming ciliate [From *Notes on Water Pollution* No. 43, HMSO, London, 1968]

شکل ...
پنج نوع از متداولترین پروتوزوائی که معمولاً
در سیستم های تصفیه یافت میشوند .

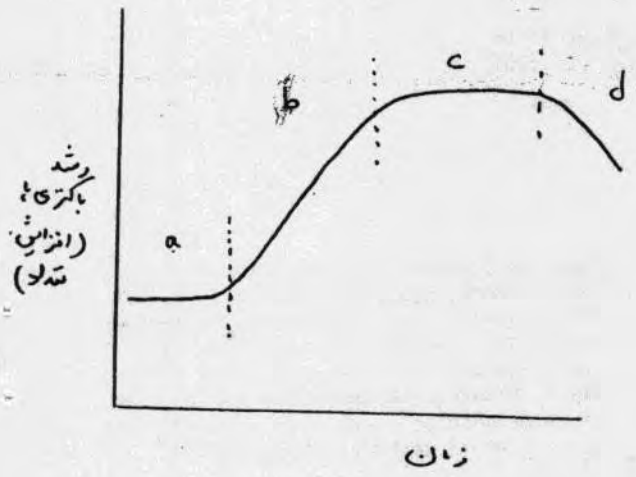
(۱۸a)

(کربن - ازت - فسفر) حالتی که اصطلاحاً بنام "Algal bloom" که اصطلاحاً بآن "شکوفائی جلبکها" گفته میشود ، اتفاق می افتد که باعث انهدام زود هنگام دریاچه میگردد و عامل آن رشد بیش از حد خزه ها و جلبکها میباشد.
بعضی از انواع جلبک بعنوان منابع پروتئین مورد استفاده قرار میگیرند.
بطور کلی جلبکها میتوانند دارای مزاحمتهای زیادی در آبها و فاضلابهای تصفیه شده باشند که در جدول ضمیمه بـه بعضی از انواع آنها و اثرات احتمالیشان اشاره شده است.

پروتوزوئا PROTOZOA : موجوداتی ذره بینی و چند سلولی میباشند که از سایر موجودات ذره بینی به حیطه حیوانات نزدیکترند. بسه گروه اصلی تقسیم میشوند که عبارتند از آمیب ، سیلیات و فلاژلات "Amaeba, Ciliate, Flagellat" . بعضی از انواع آمیب پاتوژن بوده و خطرناک میباشند. پروتوزئرها در تصفیه فاضلاب نقش عمده ای را ایفا میکنند و وجود آنها شاخصی برای کیفیت آب محسوب میشود.(فاضلاب تصفیه شده غنی از پروتوزوئا میباشد).

موجودات بزرگتر: موجودات دیگری نیز در اکولوژی آبهای آلوده و در چرخه میکروارگانیزمهای سیستم های تصفیه فاضلاب زندگی میکنند که از جمله کرم های حلقوی - نماتدها Nematod و سایر نرمتنان میتوان نام برد.
این موجودات معمولاً انگلهای بسیار خطرناکی محسوب میشوند.

جداول ضمیمه برخی از میکروارگانیزمهای موجود در فاضلابها را نشان میدهد و همچنین برخی از پاتوژنها (میکروارگانیزمهای بیماریزا) نیز نام برده شده اند.



معنی رشد و تکثیر میکروارگانیزم

a) - فاز تأخیری Lag phase
b) - فاز لگاریتمی Log phase
c) - فاز ثابت Stationary phase
d) - فاز مرگ Death phase

دفع فاضلاب

یکی از مشکلات مهم در رعایت مسائل بهداشتی شهرها و مراکز صنعتی دفع فاضلاب و پسابهای صنعتی است. در گذشته ای نه چندان دور کلیه فاضلابهای شهری در مناطقی که در کنار رودخانه قرار داشتند به رودخانه ها تخلیه میگردید. شبکه های جمع آوری فاضلاب قدیمی باقیمانده از قرون پیش در شهرهائی مثل لندن - پاریس و..... گواه این عمل بوده است .

بتدریج بعلت آلودگی شدید رودخانه ها در کشورهای غربی که از اوایل دهه ۶۰ (۱۹۶۰) نمایان گردید ، تخلیه فاضلابهای خام در محیط هائی که دارای ظرفیت لازم نیستند تقریبا" محدود و تابع قوانین و مقررات خاصی گردید که این امر بتدریج باعث بهبود وضعیت رودخانه هائی که تا چندی پیش بعلت آلودگی آثاری از حیات نداشتند گردیده است .

در کشورهائی مثل ایران که کمتر از نعمت رودخانه های پرآب بهره مند بوده ، دفع فاضلاب از طریق چاههای جاذب صورت گرفته است و هنوز هم این روش متداول برای دفع بیش از ۹۵ در صد فاصلابهای کل کشور است.

دفع فاضلاب خام در دریا ، دفع زمینی و پراکنده کردن روی اراضی کشاورزی و ... سایر روشهائی هستند که برای دفع نهائی فاضلابهای خام و پساب های صنعتی بکار برده شده اند.

ملاحظات عمومی

در مواردیکه حجم فاضلاب بسیار کم میباشد دفع زمینی و یا دفع در رودخانه و یا دریا میتواند مورد بررسی قرار بگیرد ولی این روش برای فاضلاب شهرهای بزرگ و مراکز پرجمعیت و یا حجم زیاد پسابهای صنعتی بهیچ وجه قابل قبول نخواهد بود.

استانداردهای فعلی کشور تقریبا در تمام موارد دفع فاضلاب تصفیه نشده را در دریا یا چاه جذبی یا پخش روی سطح زمین و .. غیر قابل قبول و غیر مجاز شناخته است.

با ین وجود و با توجه باینکه این روشها در بعضی از کشورهای دنیا هنوز مرسوم است باید توجه داشت که علاوه بر دقت و توجه به مسائل بهداشتی و جلوگیری از پراکندگی و نشر انگل ها و باکتریها در محیط های آبی (و یا خاکی) مسائل فنی ، اقتصادی و رعایت استانداردهای ملی و بین المللی نیز ضروری است . تخلیه فاضلابهای خام تقریبا" در کلیه مناطق (دریا - کشاورزی و ....) مجاز نمیباشد و استفاده از حداقل یک مرحله تصفیه (مثل ته نشینی و یا سپتیک Septicو ...) ضروری خواهد بود. (سازمان محیط زیست ایران نیز اجازه تخلیه فاضلابهای خام به محیط را نمیدهد) . استفاده مجدد از " فاضلاب تصفیه شده " در کشورهائی مثل ایران که از کم آبی نسبی برخوردارند بسیار حائز اهمیت است. آب عامل اصلی توسعه محسوب میگردد و کمبود آن باعث محدودیت در توسعه صنعتی خواهد شد ، لذا در بسیاری از نقاط کشور، هم اکنون فاضلاب را بعنوان تهیه آب برای مصرف مجدد تحت تصفیه قرار میدهند.

در جنوب شرقی آسیا بعضا" از فاضلاب خام بهداشتی (ضایعات انسانی) در استخرهای پرورش ماهی استفاده می نمایند ولی این رویه مورد تائید نبوده و از نظر بهداشت آب و محیط زیست پذیرفته نمی باشد.

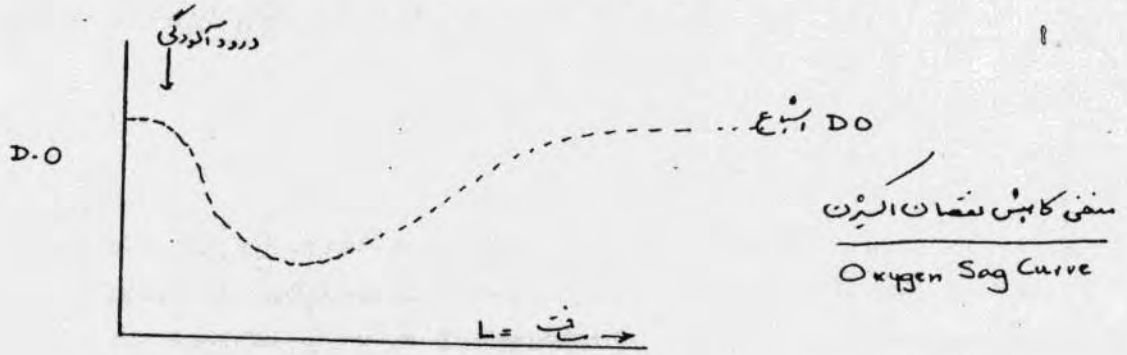
دفع فاضلاب در رودخانه ها

دفع فاضلاب در رودخانه ها

اگر چه رودخانه ها برای قرون متوالی عهده دار انتقال فاضلاب شهرهای بزرگ در سراسر دنیا بوده اند ولی این امر بدلیل افزایش جمعیت و بروز آلودگی شدید در بسیاری از رودخانه های معروف دنیا(مثل تیمز لندن ، راین آلمان ، و ....) در حال حاضر مورد قبول واقع نمیشود.

بسیاری از فاضلابهای صنعتی دارای ترکیبات و عناصر خطرناکی هستند که باعث آلودگی های شدید در آبزیان خواهد شد. فلزات سنگین مثل جیوه ، کرم، کوبالت،نیکل و.... عموماً مسموم کننده بوده و بسادگی حیات رودخانه را از بین میبرند. فاضلابهای بیولوژیکی در رودخانه تحت فعل و انفعالات بیولوژیکی قرار گرفته و باعث کاهش اکسیژن محلول آب رودخانه میگردند. این امر تاکنون مرگ و میر هزاران و بلکه میلیونها ماهی را در رودخانه های کشور باعث شده است.

ورود مواد آلی (ارگانیک) قابل تجزیه Biodegradable به آب های سطحی - بخصوص دریاچه ها و رودخانه ها - باعث افزایش فعالیت میکروارگانیزمها شده است و با مصرف اکسیژن توسط این موجودات آب دچار " کمبود و نقصان اکسیژن " (Oxygen Deficit) میگردد و در نتیجه آبزیانی که این شرایط را نمیتوانند تحمل کنند دچار خفگی و مرگ میشوند. شکل زیر منحنی کاهش اکسیژن آب رودخانه در حالتیکه بارآلاینده مشخصی وارد آن میگردد را نشان میدهد.



بهمین منظور برای تخلیه فاضلابهای شهری و صنعتی به رودخانه ها - حتی چنانچه این فاضلابها تصفیه شده باشند، عوامل متعدد از جمله قابلیت " خودپالائی " رودخانه ها که باعث برگشت کیفیت آب به حالت اولیه میگردد ، باید مورد مطالعه و بررسی قرار بگیرند. آب رودخانه هائی که برای مصرف آشامیدن در نظر گرفته شده اند باید از نظر شیمیائی و میکربی دارای کیفیت خاصی باشند و لذا معمولاً فاضلاب تصفیه شده نباید به آنها تخلیه گردد.

شرایط رودخانه	BOD_5 mg/l	COD
خیلی تمیز	کمتر از 1	کمتر از 3
تمیز	کمتر : 2	: : 5
قابل قبول	کمتر : 3	: : 8
آلوده	کمتر : 10	: : 20

در حال حاضر بعضی از رودخانه های کشور مثل کارون و زاینده رود در مناطق پائین دست و پس از عبور از مناطق صنعتی کیفیتی بسیار نازل پیدا مینمایند بطوریکه بعضاً بسیار آلوده محسوب میشوند.

باید در نظر داشت که در بسیاری از مناطق نیز چاره ای بغیر از تخلیه فاضلاب تصفیه شده در رودخانه (و یا دریا) نیست و علیرغم همه مسائل و مشکلات این امر اجتناب ناپذیر خواهد بود. ولی باید سعی شود که حداقل فاضلاب وارد شده به رودخانه از کیفیت لازم برخوردار بوده و استاندارد مربوطه را دارا باشد.

دفع در دریا

در بسیاری از کشورهائی که دارای سواحل طولانی میباشند، دریا میتواند محل مناسبی برای دفع فاضلاب خام باشد. فاضلابهای شهر ریکیاویک (پایتخت ایسلند) پس از عبور از آشغالگیرهای اولیه در ۱۲ کیلومتری ساحل وارد دریا میشود و گفته شده که این امر حتی پروئین بیشتری برای ماهیها فراهم و در نتیجه به ماهیگیری منقطه نیز کمک نموده است .
ولی در اکثر کشورهای دنیا فاضلاب خام را به دریا تخلیه نمیکنند و آلودگی سواحل خود معضل بزرگی برای بسیاری از سواحل اروپا شده که نهایتاً به صنعت توریسم نیز زیان وارد ساخته است .
در ایران نیز بسیاری از سواحل دریای خزر - حداقل در حاشیه شهرهای بزرگ ساحلی ، آلودگی آبهای ساحلی بوضوح دیده میشود و یکی از مهمترین آلودگیهای زیست مخیطی منطقه استانهای شمالی کشور را تشکیل میدهد.
در تخلیه فاضلاب به دریا باید حداقل موارد زیر مورد توجه قرار بگیرد:

۱- فاضلاب باعث آلودگی آبهای ساحلی و به خطر افتادن سلامت شناگران نشود.
۲- به سلامت آبزیان و ماهیها صدمه وارد نسازد.
۳- باعث تشکیل لجن در کف دریا و تخریب محیط تخم ریزی و تکثیر آبزیان نگردد.
۴- در مواقع جزر و مد و نوسانات سطح دریا، آلودگی به ساحل منتقل نشود.

بنابراین اگر چه تخلیه فاضلابهائی که دارای مواد سمی و خطرناک نیستند در فاصله ای از سواحل هنوز در بعضی از کشورها اجرا میشود ولی قوانین بین المللی برای محدود کردن این رویه بسرعت در حال تدوین میباشد. تا چند سال پیش حتی ضایعات صنعتی خطرناک نیز در اقیانوس ها تخلیه میگردید ولی اکنون قوانین و کنوانسیونهای بین المللی تا حدودی مانع از انجام این روش شده است .

دفع زمینی و استفاده از فاضلاب برای آبیاری، زراعت ، باروری زمین

استفاده از فاضلابهای خام در کشاورزی چه به منظور باروری خاک و چه بمنظور آبیاری از سابقه ای طولانی در دنیا برخوردار است .این روش دفع فاضلاب فقط در مواقعی مجاز شناخته شده است که باعث آلودگی آب های سطحی ، خاک و یا گیاهان قابل مصرف انسان نگردد و بنابراین فاضلابهای صنعتی که میتوانند عوامل خطرناک مثل فلزات سنگین را به خاک منتقل کنند و یا فاضلابهای شهری که انواع انگلها و پاتوژنها را با خود حمل میکنند باید حتی الامکان تصفیه و بی ضرر شده و سپس در کشاورزی بکار برده شوند.
متاسفانه در غالب کشورهای در حال توسعه و حتی در بسیاری از مناطق ایران بدون توجه به عواقب این امر از فاضلابهای انسانی خام (و یا لجن و مواد جامد فاضلابها - کود حیوانی یا انسانی) برای باروری خاک و یا آبیاری استفاده میشود ودر بسیاری از مناطق فاضلابهای صنعتی نیز در کشاورزی بکار برده شده و بعضاً مشکلاتی را فراهم آورده اند . بعنوان مثال به

مشکل سبزی کاریهای جنوب تهران میتوان اشاره نمود که از آب نهرهای فیروزآباد و سرخه حصاراستفاده مینمودند ومسائل زیادی را در مقطع زمانی سالهای ۷۰ - ۶۸ بوجود آوردند.
اصولاً توصیه میگردد که فاضلاب خام برای گیاهان بوته ای و خوراکی و بخصوص غده ای (مثل هویج و یا کلم) و یا سبزیجاتی که بصورت خام مصرف میشوند استفاده نشود ولی برای آبیاری درختان و گیاهانی که خطر کمتری از نظر آلودگی دارند با مدیریت صحیح آبیاری و با توجه به موارد زیر بعضاً میتواند مجاز باشد:

۱- آلودگی نباید در گیاه انباشته گردد (مثل انباشتگی فلزات سنگین در بعضی از گیاهان)
۲- آلودگی موجب تغییر کیفیت خاک و با آبهای زیرزمینی نگردد.
۳- باعث رشد و تکثیر حشرات و سایر جانوران موذی نشود.
۴- انتشار بوی بد و یا پراکندگی پاتوژنها صورت نگیرد.
۵- اصولاً مشکلی از نظر محیط پذیرنده ایجاد نشود و اعتراضی از طرف افراد و یا سازمانها نباشد.

تخلیه فاضلاب در چاههای جاذب

این روش دفع فاضلاب عمده ترین نحوه دفع در ایران میباشد. از نظر کلی تا موقعیکه دفع در چاههای جذبی باعث آلودگی آبهای زیرزمینی نشده و مشکل خاصی را بوجود نیاورد ، مجاز شناخته میشود ولی در سالهای اخیر رشد فزاینده جمعیت و تبدیل واحدهای مسکونی یک طبقه به آپارتمانهای چند طبقه ، دفع حجم زیادی از فاضلاب در یک فضای محدود را با مشکل مواجه ساخته است . در بسیاری از مناطق بالابودن سطح آبهای زیرزمینی ، سنگی بودن زمین بطوریکه نفوذ آب به لایه های زمین دشوار گردد و بالاخره تجمع و کثرت جمعیت نسبت به سطح ، باعث شده که این راه حل سنتی برای دفع فاضلاب کارساز نباشد. عامل دیگر پرت و تلف شدن آب میباشد که در مناطق خشک میتواند مهم تلقی گردد.
بنابراین روش دفع فاضلاب در چاههای جذبی فقط در مقاطع خاص میتواند هنوز بعنوان یک راه حل تلقی شود و سیاست کلی کشور بر این است که کلیه فاضلابهای شهری تصفیه و مورد مصرف مجدد قرار بگیرند.
در مواردی که از این روش استفاده میشود، چاههای جذبی باید حداقل ۱۵ متر از چاه آب فاصله داشته باشند و کیفیت آبهای زیرزمینی را به مخاطره نیاندازند. از همین رو در سالهای اخیر توصیه میگردد که بجای استفاده از چاه جذبی ، از مخزن سپتیک استفاده شود که احتمال آلودگی را کاهش دهد.

بهرحال همانگونه که ملاحظه گردید روشهای مختلفی برای دفع فاضلاب وجود دارد که بستگی به شرایط جغرافیائی و محلی میتوان از این روشها استفاده نمود ، ولی بطور کلی دفع فاضلاب خام در محیط از نظر اصولی در اکثر کشورهای دنیا تقریباً غیرقابل قبول گردیده و باید حتی الامکان از روشهای تصفیه مناسب فاضلاب و استفاده مجدد از آبهای مصرف شده استفاده نمود.

فرایندهای تصفیه فاضلاب Waste - Water Processing

روش سنتی و متداول تصفیه فاصلاب ، ترکیبی است از روش های فیزیکی و بیولوژیکی که بمنظور دفع مواد آلی محلول بکار برده میشود. مخزن (تانک) ایمهوف " Imhoff Tank " یکی از ابتدائی ترین وسائلی میباشد که برای این منظور طرح و مورد استفاده واقع گردید . این روش که هنوز نیز در نقاط دور افتاده و دور از دسترس به یک تصفیه خانه عمومی (شهری) بکار برده میشود ، بر اصل رسوب گیری بنا شده (رسوب نمودن مواد معلق و شناور فتاضلاب شهری باعث کاهش ۲۰ الی ۴۰ در صد آلودگی میگردد) ، بعدها برای زیاد کردن بازده عمل رسوب گیری از مواد شیمیائی مثل املاح آهن و آلومینیوم استفاده شد و اگر چه بهبود زیادی در کاهش مواد آلی ایجاد گردید ولی بعلت مخارج زیاد (هزینه مواد شیمیائی) و اصولاً بازده کم فرایند رسوب گیری در کاهش غلظت مواد آلی محلول ، استفاده از تانک ایمهوف و یا روشهای مشابه توسعه پیدا ننمود .

در تصفیه فاضلاب اولین موفقیت هنگامی بدست آمد که پس از عبور فاضلاب از یک بستر شنی کاهش مقدار زیادی از مواد آلی محلول در فاضلاب مشاهده گردید. این اولین قدم در راه آشنائی با تصفیه فاضلاب بود و قدم بعدی هنگام برداشته شد که اثر توده های میکروبیولوژیکی ، بصورت لخته های شناور در آب در حذف و برداشت مواد آلی شناخته شد.

امروزه تصفیه فاضلابهای شهری و صنعتی یک ضرورت شناخته شده است و در جوامع پیشرفته تقریباً هیچ نوع فاضلابی بدون تصفیه در محیط رها نمیشود.

روشهای تصفیه فاضلاب بسیار متنوع و تا حدودی تابع نوع آلودگی و غلظت آن میباشد. با توجه باینکه آلودگی ها را به دو گروه اصلی یعنی آلودگیهای فیزیکی که شامل مواد جامد شناور (اعم از ذرات درشت و مواد کلوئیدی و رنگی و..) است و آلودگیهای محلول که شامل مواد شیمیائی و املاح آلی و معدنی حل شده در آب میباشد ، میتوان تقسیم بندی نمود بنا براین تصفیه فاضلاب نیز معمولاً شامل مراحلی است که بتواند این آلودگیها را از آب جدا نماید.

تصفیه خانه های شهری عادی معمولاً از سیستم هائی که در شکل ضمیمه بکار برده شده اند تشکیل میشوند.

اصولاً تصفیه خانه های بزرگ فاضلاب دارای سه مرحله میباشند :

- تصفیه مقدماتی یا تصفیه مرحله اول : (با هدف تصفیه فیزیکی فاصلاب)
- تصفیه بیولوژیکی یا تصفیه مرحله دوم : (با هدف تجزیه و حذف مواد آلی)
- تصفیه مرحله سوم : (با هدف زلال سازی و تصفیه پیشرفته فاضلاب)

تصفیه مرحله اول

مراحلی را که جریان فاضلاب تا رسیدن به مرحله تصفیه بیولوژیکی طی میکند مرحله اول یا مقدماتی مینامند. در طی این مراحل تصفیه فیزیکی بمنظور حذف ذرات معلق و شناور که میتواند تا حدود ۴۰٪ از مقدار آلودگی را کاهش دهد انجام میگیرد.

این مراحل عبارتند از :

- آشغالگیری برای حذف ذرات جامد شناور درشت از فاضلاب (مثل کاغذ ، پارچه و کهنه ، برگ ، چوب ، پلاستیک و...)
- دانه گیری بمنظور حذف دانه ها و مواد جامد سنگین از فاضلاب (ذرات شن ، شیشه خورده ، دانه حبوبات و ...)
- چربی گیری و شناور سازی بمنظور حذف ذرات و مواد شناور در فاضلاب (چربی و روغن و ...)

- ته نشین سازی مقدماتی درجهت حذف مواد جامد قابل ته نشینی (مدفوع انسان ، ضایعات موادغذائی و...)
در بعضی از موارد متعادل سازی فاضلاب و حنثی سازی که بیشتر مربوط به تصفیه فاضلابهای صنعتی است نیز بعنوان تصفیه مقدماتی شمرده میشود .
همچنین شناور سازی در تصفیه بسیاری از فا ضلابهای صنعتی مرحله بسیار مهمی تلقی میگردد (مثل فاضلاب پالایشگاه های نفت) ولی در تصفیه خانه های فاضلاب شهری معمولاً همراه با دانه گیری بکار میرود.

تصفیه مرحله دوم

تصفیه بیولوژیکی و رسوب گیری نهائی بنام مرحله دوم نامیده میشوند. (فرایندهای تصفیه بیولوژیکی با استفاده از فیلترهای بیولوژیکی و یا با استفاده از مخازن هوادهی و استفاده از لجن فعال و یا سیستمهای مشابه انجام میشود). هدف از مرحله دوم تصفیه حذف بخش عمده مواد ارگانیک محلول در فاضلاب (شامل BOD & COD) میباشد.
در این مرحله از میکروارگانیزمها برای تجزیه مواد آلی استفاده میشود بنابراین بنام مرحله بیولوژیکی نیز نامیده میشود.

تصفیه مرحله سوم

این مرحله شامل زلال سازی فاضلاب، ضد عفونی کردن و حذف ازت و فسفر میگردد که در بعضی موارد بخصوص چنانچه مقرر باشد از فاضلاب تصفیه شده استفاده مجدد گردد بسیار مهم تلقی شده و باید اعمال شود .

علاوه بر فرایندهای فوق دفع لجنهای تشکیل شده نیز طی مراحل جداگانه ای صورت میگیرد که بطور کلی جریان خاصی را طی میکند و غالباً یکی از پرخرجترین مراحل تصفیه خانه میباشد. لجن تولید شده با بوی تند همراه بوده و دارای ۱ الی ۵ ٪ ماده خشک (۹۹٪ - ۹۵٪ آب) میباشد که نهایتاً سوزانده و یا کود شده و یا دفن میگردد.
(بعبارتی کل عمل تصفیه را میتوان عمل تغلیظ دانست که طی آن آلودگی آب از صورت محلول در آمده و بصورت جامد و خشک دفع میگردد.)

کیفیت و کمیت فاضلابهای شهری

برای طرح سیستم های تصفیه فاضلاب شهری معمولاً از این تیپ ارقام استفاده میشود:

فاضلاب سرانه حدوداً	۴۰۰ - ۱۵۰ لیتر هر نفر در روز
مواد جامد و معلق حدود	۲۴۰ میلی گرم در لیتر(SS)
کل مواد جامد حدود	۱۰۰۰ میلیگرم در لیتر (T.S)
غلظت " باد " فاضلاب حدود	۲۰۰ - ۳۰۰ میلیگرم در لیتر(BOD)
غلظت COD حدوداً	۶۰۰ - ۴۰۰ : : :

لجن تولید شده در مخزن (تانک) مقدماتی و تانک نهائی حدود ۲ لیتر هر نفر در روز است که ۹۸٪ آنرا آب تشکیل میدهد. این لجن پس از تغلیظ به حدود ۲۷ میلی لیتر هر نفر در روز میرسد که یک سوم آنرا مواد جامد تشکیل میدهد. با اینحال در فاضلابی که طبق روشی شبیه روش های متداول فوق تصفیه بشود حدود ۵۰ درصد مواد جامد فرار ، ۶۰٪ درصد مواد ازته و ۷۰٪ مواد فسفاته باقی میماند ، به این جهت لازم است که تصفیه مرحله سوم یعنی تصفیه پیشرفته نیز انجام بگیرد.

در تصفیه پیشرفته یا تصفیه مرحله سوم از روشها و فرایندهای مختلفی استفاده میشود: کربن فعال مواد آلی فرار را ، دنیتریفیکاسیون (Denitrification) و نیتریفیکاسیون (Nitrification) مواد ازته و تصفیه شیمیائی (آهک زنی) مواد آلی فسفاته را از بین برده و یا از فاضلاب تصفیه شده جدا میسازد.

لازم بگفتن است که تصفیه فاضلاب ، اعم از شهری یا صنعتی ، همیشه مراحلی را که در شکل های ضمیمه نشان داده شده طی نمیکند و بستگی بنوع فاضلاب و حجم آن ، محاسبات اقتصادی ، امکانات منطقه ای و بسیاری از عوامل دیگر میتواند متفاوت باشد. مثلاً در صورتیکه فاضلاب دارای مقادیری روغن باشد باید بوسیله فرایند چربی گیری روغنها را جمع آوری نمود و همینطور در تصفیه خانه های کوچک (شهرک - هتل و غیره) احتیاجی بتمام سیستم های فوق نیست و در این موارد فرایند ته نشینی اولیه و یا دانه گیری اغلب بکار برده نمیشود .

برای منازل مسکونی منفرد و یا چند تائی (محتمع های مسکونی) از روشهائی مثل تانک سپتیک و یا تانک ایمهوف و یا تصفیه خانه های یکپارچه (پکیج) استفاده میشود.

سیستم های کامل (مثل سیستم لجن فعال و یا بیوفیلترها) برای مواردی که حجم فاضلاب زیاد است مثل فاضلاب شهر ها متداول میباشند و بعضاً نیز از روشهای لاگونی (برکه های تصفیه) مخصوصاً در نقاطی که زمین با قیمت کم و در سطح زیاد در دسترس است استفاده میشود و علی الاصول روسهای لاگونی بعنوان طرح های بسیار کم خرج معروف میباشند.

در روشهای لاگونی فاضلاب در حوضچه های وسیع و بزرگی که بنام " Stabilization Ponds " نامیده میشوند مدت زمان زیادی را میگذراند (حدود ۱۰ الی ۶۰ روز) و در این مدت مواد آلی بتدریج تجزیه شده و آب تصفیه شده پس از گرفتن خزه ها و جلبکها ، که در برکه(لاگون) رشد نموده اند ، غالباً بمصارف کشاورزی میرسد.

استانداردهای لازم

با توجه به نحوه دفع فاضلاب تصفیه شده رعایت استاندارد های خاص ضروری میباشد. مثلاً اگر فاضلاب تصفیه شده بمنظور استفاده در آبیاری و کشاورزی دفع میشود باید BOD ، نمک ، مواد معلق و غیره از حد مشخصی تجاوز نکند درصورتیکه اگر به رودخانه و یا دریائی واریز شود غلظت فاکتورهای ذکر شده باید متناسب با استانداردهای تعیین شده برای آن رودخانه یا دریا باشد ، این استانداردها در نقاط مختلف دنیا متفاوت میباشند و حتی در مناطق بخصوص که دارای محیط زیست حساسی میباشند ، شرایط و قوانین سخت تری برای دفع پسابها مقرر میشود که حتماً باید در موقع طرح تصفیه خانه ها به این شرایط و مقررارت توجه خاص مبذول بشود.

برخی از استانداردهای متداول و مدون کشور که توسط سازمان حفاظت محیط زیست در سال ۱۳۷۱ اعلام شده است ضمیمه میباشد.

شدت جریان و هیدرولیک تصفیه خانه

کلیه مخازن ، تانکها ، پمپها ، لوله ها و ... با در نظر گرفتن میزان جریان و فشار آن در طول ساعات مختلف روز و روزهای مختلف سال باید طرح بشوند. مثلاً در تابستان غالباً میزان جریان بین ۲۰ تا ۱۰ درصد بیشتر از میزان جریان زمستانی میباشد. در این بین میزان نفوذ آبهای سطحی و زیرزمینی نیز درطول سال میتواند متفاوت و باید در نظر گرفته شود . مخصوصاً پمپها در مقابل نوسانات جریان بسیار عمل حساسی را ایفا میکنند. حداقل جریان حدوداً بین ۲۰ تا ۵۰ درصد جریان متوسط ، و حداکثر جریان حدود ۲۵۰ درصد جریان متوسط میباشد. بنابراین ممکن است ضروری باشد که در طراحی پمپها و انتخاب نوع و عملکرد آنها شرایطی در نظر گرفته شود که نوسانات را جوابگو باشند.

توجه : در مورد جریانهای حداقل - متوسط - حداکثر باید نهایت دقت بشود. جریان حداکثر و جریان حداقل در طول زمان معین،و مشخصی اتفاق می افتد که غالباً از ۲ یا ۳ ساعت در روز تجاوز نمیکند و طول این زمان بسیار مهم است ، مثلاً اگز مخزنی برای جریان متوسط ۵ هزار مترمکعب در روز طرح شده باشد که قادر بجوابگویی جریان حداکثر ۱۰ هزار مترمکب در روز نیز باشد به این معنی نیست که این مخزن در یک روز میتواند ده هزار مترمکعب را در خود بپذیرد بلکه به این معنی است که اگر جریان حداکثر ۱۰ هزار مترمکعب در روز برای یکی دو ساعت در این مخزن جاری شد بطوریکه جریان متوسط روزانه از ۵ هزار مکعب تجاوز ننماید ، این مخزن باعث ایجاد اشکالی نخواهد شد و از عهده وظایف مربوطه برخواهد آمد.

استانداردهای بین المللی کیفیت پساب تصفیه شده :

با توجه به مطالبی که در مقدمه این بخش آمد استاندارد کاملاً مخصوصی در تمام دنیا رعایت نمیشود ولی استانداردهای زیر که در انگلستان بکار برده میشود در بسیاری از کشورها - حداقل برای دفع فاضلابهای شهری تصفیه شده در رودخانه - جنبه عمومی و متداول پیدا کرده اند :

غلظتBOD : معدل حسابی نمونه هائی که در ۳۰ روز متوالی برداشت میشوند باید کمتر از ۲۰ میلیگرم در لیتر باشد و حداقل برداشت BOD باید ۸۵٪ باشد.

غلظت مواد معلق SS: معدل نمونه هائی که در ۳۰ روز متوالی برداشت میشوند باید کمتر از ۳۰ میلیگرم در لیتر بگردد.

کالیفرم های روده ای (E.Coli - Fecal Coliform) : معدل نمونه های برداشت شده در ۳۰ روز متوالی نباید متجاوز از ۲۰۰ در هر صد میلی لیتر فاضلاب تصفیه شده باشد.

pH : بین ۹ - ۶ قابل قبول است .

کف و مواد شناور روی سطح آب نباید دیده شوند.

* استانداردی که در انگلستان بسیار رایج است معروف به استاندارد ۲۰ - ۳۰ بوده یعنی BOD پساب تصفیه شده باید حداکثر ۲۰ و S.S حداکثر ۳۰ باشد.

پارامترهای طرح

اصطلاحاتی در مورد طرح سیستم ها بکار برده میشود که در اینجا به بعضی از آنها اشاره و تعریف میشوند :

فرایند هوازی : فرایندهائی که نیاز به اکسیژن دهی (هوادهی) فاضلاب دارند و یا اکسیژن بنحو مناسب و در حد لزوم باید بفاضلاب رسانیده شود.

فرایند غیر هوازی : فرایندی که معمولاً بدون نیاز بهوادهی انجام میشود و معمولاً در مخازن سرپوشیده (بمنظور جلوگیری از ورود اکسیژن و پخش بو ی تعفن در محیط) انجام میگیرد.

عمق تانک (مخزن) : عبارتست از ارتفاع دیوار مخزن (کف شیبدار جزو عمق نمیباشد) بعبارت دیگر عبارتست از عمق آب در کناره مخزن تا بالای سرریز (تیغه لبریزی) (Overflow Weir) و بر حسب متر میباشد.

زمان ماند یا زمان اقامت (Retention Time): با تقسیم نمودن حجم تانک بر مقدار جریان ورودی محاسبه میگردد و بر حسب ساعت میباشد. **(T = V / Q)**

بار سطحی یا شدت جریان سطحی: (Surface Overflow Rate) : جریان متوسط روزانه ورودی به مخزن تقسیم بر سطح مخزن (مترمکعب در روز بر متر مربع سطح مخزن) **S.O.R. = Q / A**

بار آلی : مقدار BOD وارد بر واحد حجم یا سطح ، (در مورد مخزن هوادهی ، کیلوگرم BOD بر مترمکعب از حجم تانک در روز - در مورد فیلتر بیولوژیکی ، کیلوگرم BOD بر مترمکعب از حجم ٌ محیط ٌ فیلتر در روز)

$$\text{BOD Load} = \frac{\text{kg BOD per m}^3 \text{ volume}}{\text{m}^2 \text{ area}}$$

بار هیدرولیکی : شدت جریان (مترمکعب) بر واحد سطح (مترمربع) یا بر واحد حجم .

$$\text{Hydraulic Load} = \text{m}^3 \text{ per m}^2 \text{ area}$$
$$\text{Hydraulic Load} = \text{m}^3 \text{ per m}^3 \text{ volume}$$

* اغلب مهندسین طراح تصفیه خانه ها ی فاضلاب پارامترهای فوق را بصورت استاندارد شده در دسترس دارند و گاهی نیز احتیاج به مراجعه به آزمایشگاه و محاسبات دقیقتر برای پیدا کردن پارامترهای فوق دست میدهد ولی بطور کلی پارامترهای استاندارد که بر حسب تجربه بدست آمده اند موارد استعمال زیادی پیدا میکنند مثلاً زمان ماند در حوضچه رسوب سازی بین ۲/۵ - ۱/۵ ساعت در نظر گرفته میشود و این بیشتر از روی تجربه شخصی میباشد.

مراحل طرح تصفیه خانه های فاضلاب

محاسبات و تعیین مشخصات دستگاه ها با توجه به بارهای متفاوت وارد بر پروسس های مختلف (رسوب گیری - غربال - سیستمهای بیولوژیکی و ...) تصفیه خانه انجام میگیرد. طرح نهائی باید دارای کلیه نقشه های دقیق مکانیکی - الکتریکی و ساختمانی باشد و در آن مرحله بعضاً ضرورت پیدا میکند که بار وارد بر هر دستگاه و هر مخزن بخصوص و یا در هر مرحله از تصفیه در نقشه نشان داده شده و مورد تاکید واقع بشود

همچنین معمولاً ٌ احجام مخازن و مشخصات ماشین آلات و دستگاه ها بعنوان تابعی از بار وارد برآن دستگاه قید میگردد و این روش در جهت برآورد فوری و بررسی تصفیه خانه مورد استفاده قرار میگیرد.

مطلب دیگری که در طرح ها باید رعایت بشود پیش بینی احتیاجات آینده میباشد و این به دو معنی است یکی اینکه در آینده امکان وضع مقررات مشکل تری برای تصفیه پساب و یا دفع پساب تصفیه امکان دارد تعیین گردد. دوم اینکه مناطق مسکونی و تجاری تازه ای به شبکه تصفیه خانه ممکن است اضافه شود. در نتیجه با وجودیکه پیش بینی احتیاجات آینده کاری بسیار مشکل است ولی در تصفیه خانه زمین و فضائی را بطور آزاد در جوار تصفیه خانه رها میکنند تا در صورت احتیاج به بسط و توسعه تصفیه خانه در آینده ، این عمل با حداقل مشکلات توام باشد و البته تا جائیکه مقدور باشد امکانات را طوری در نظر میگیرند که با شرایط جدید نیز وفق بدهد.

در بسیاری از موارد تصفیه خانه طرح شده در چند فاز اجرائی طرح میگردد. مثلاً در فاز اول تصفیه خانه جمعیت معادل ۵۰/۰۰۰ نفر تحت پوشش قرار گرفته و در فاز دوم توسعه تصفیه خانه برای جمعیتی معادل ۱۰۰/۰۰۰ نفر پیش بینی میشود.

این رویه بخصوص در کشورهای در حال رشد که دارای جمعیت رو بافزایش هستند در طرحهای مربوط به آب و فاضلاب رعایت میگردد.

انتخاب فرایندهای تصفیه

همانگونه که در بخشهای قبلی عنوان گردید معمولاً فرایندهای تصفیه تابعی ازنوع آ لودگی فـاضلاب اسـت. بعنـوان مثـال در تصفیه فاضلاب صنعت آبکاری فلزات که فاضلاب نوعاً از مواد شیمیائی رقیق تشـکیل شـده اسـت روش تصفیـه معمـولاً روش شیمیائی میباشد و در حالیکه در تصفیه فاضلاب شهری بخش اصلی تصفیه خانه را روش تصفیه بیولوژیکی تشکیل میدهد.
باین ترتیب روش واحدی که بتوان در تمام موارد از آن استفاده نمود وجود ندارد و حتی برای یـک فـاضلاب خـاص از چندیـن روش کاملاً متفاوت که همه آنها نیز قابل قبول بوده و دارای توجیه کافی هستند میتوان استفاده نمود.
باین ترتیب علاوه بر نکات علمی و فنی که باید در طرح تصفیه خانه ها دقیقاً رعایت گردد نکات سلیقه ای و یا سایر عواملی که میتوانند بنحوی در طرح موثر واقع شوند نیز مورد توجه قرار میگیرند.
بعنوان مثال بهره برداری ساده از تصفیه خانه - ساخت داخلی دستگاه ها و وموجـود بـودن آنهـا ، شـرایط جغرافیـائی منطقـه ، هزینه اجرای طرح و ... از عواملی هستند که تاثیرات بسزائی در طراحی و انتخاب سیستم تصفیه دارند. باین ترتیب طرح تهیه شده باید واجد شرایطی باشد که به آن بتوان " مناسبترین طرح " و یا - **Most Appropriate Technology** اطلاق نمود.

تصفیه مقدماتی یا تصفیه مرحله اول " Preliminary Treatment "

تصفیه مقدماتی به مراحل اولیه تصفیه اطلاق میشود که معمولاً شامل روشهای تصفیه فیزیکی و بعضاً فیزیکی و شیمیائی است .

در تصفیه خانه ها معمولی مرحله اولیه تصفیه عبارتند از : غربال کردن ، تلمبه خانه اولیه برای بالا بردن سطح آب ، اندازه گیری شدت جریان ، دانه گیری و شناور کردن ، و بالاخره ته نشین سازی مقدماتی یا ته نشینی مرحله اول .

شناور سازی مرحله ایست که در تصفیه خانه های فاضلاب معمولی کمتر مورد توجه قرار میگیرد ولی در مورد فاضلابهای صنعتی حاوی چربی و روغن و یا فاضلابهائی که مواد معلق و شناور زیاد دارند بصورت یک مرحله مجزا بکار برده میشود (مثل فاضلابهای صنعتی صنعت نفت و پالایشگاه ها).

فرایند انعقاد ولخته سازی شیمیائی نیز در تصفیه خانه های معمولی بکار نمیرود و لی در تصفیه فاضلابهای صنعتی برای بالابردن کارائی سیستم ته نشینی و یا شناور سازی مورد استفاده قرار میگیرد .

همچنین فرایند متعادلسازی و خنثی سازی که برای خنثی کردن و تنظیم pH بکار برده میشود در فاضلابهای صنعتی کار آئی زیادی دارند ولی برای تصفیه فاضلابهای شهری مورد استفاده نداشته وبهر حال معمولاً بعنوان تصفیه مقدماتی محسوب شده و در این مرحله انجام میگیرند.

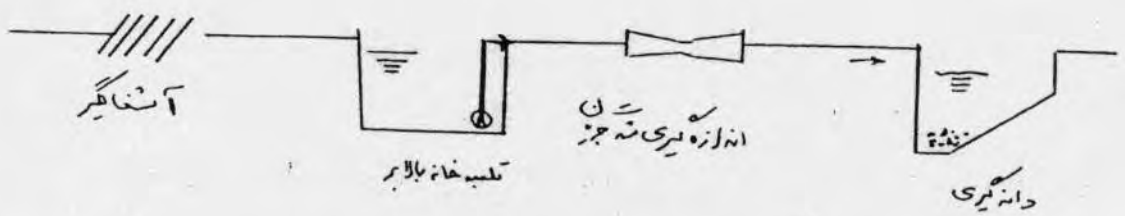
غربالها که قطعات بزرگ شناور در فاضلاب را برداشت میکنند معمولاً در اولین قسمت میباشند. چون قطعات زباله و آشغال شناور در فاضلاب در صورت وجود به پمپها و سایرقطعات مکانیکی آسیب خواهند رساند. کانال اندازه گیری شدت جریان معمولاً بعد از غربال و قبل از پمپ خانه قرار داده میشود تا نسبت به جریان حجمی فاضلاب قسمتهای مختلف تصفیه خانه بکار افتاده و یا از کار بیافتد .

در بسیاری از تصفیه خانه ها نیز سیستم اندازه گیری جریان بعد از تلمبه خانه بالابری فاضلاب قرار میگیرد زیرا معمولاً امکان اندازه گیری جریان حجمی فاضلابی که در عمق ۳ تا ۵ متری وارد تصفیه خانه میشود با دقت و بسادگی امکان پذیر نیست و لذا دستگاه اندازه گیری بعد از تلمبه خانه نصب میشود.

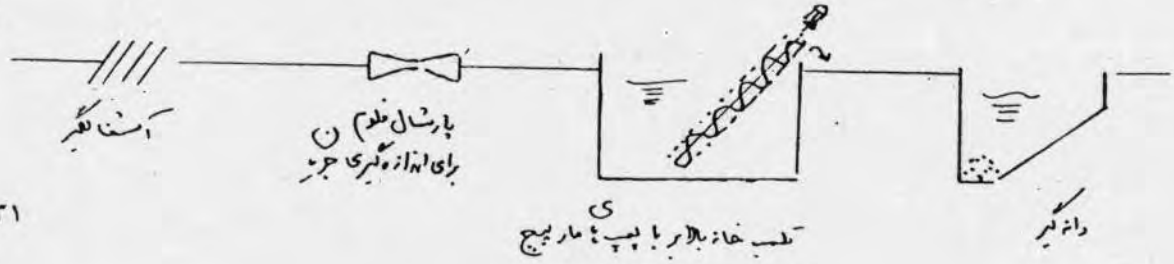
دانه گیری (شن گیری) مرحله بعدی این مسیر میباشد چون طبیعتاً دانه های همراه فاضلاب علاوه بر انباشته شدن در کف مخازن باعث سائیدگی لوله ها و پمپها و غیره نیز میگردند بنابراین باید قبل از مرحله پمپاژ قرار بگیرند ولی چون در این مرحله سطح آب بسیار پائین است ابتدا توسط تلمبه خانه بالابر سطح آب را بالا برده بطوریکه کانالهای شن گیری روی سطح زمین قرار بگیرند و سپس دانه ها (شن و ماسه) را حذف می نمایند.

شکل زیر تصفیه مقدماتی فاضلابهای شهری را نشان میدهد :

(a)



(b)



غربال کردن (آشغالگیری) Racks & Screen

حذف و جداسازی مواد جامد و شناور در فاضلاب که دارای قطری بیش از ۰/۵ یا ۱ سانتی متر هستند توسط فرایند آشغالگیری انجام میشود. انواع آشغالگیرها در تصفیه خانه های آب و فاضلاب بکار برده میشوند ولی از غربال (آشغالگیر) میله ای که بنام Rack و یا Bar Screen معروف میباشد بیشتر استفاده میگردد و سایر آشغالگیرها از جمله صفحات مشبک و توری نیز در موارد خاص استفاده میگردد. در تصفیه خانه های کوچک از آشغالگیر میله ای دستی که بوسیله ابزار مخصوص مشابه شن کش نظافت میشود و در تصفیه خانه های بزرگ از آشغالگیرهائی که با مکانیزم مکانیکی نظافت شده و آشغالها با کمک یک سیستم خودکار جمع آوری میشوند استفاده میشود.

غربال (آشغالگیر) معمولاً در کانال ورودی فاضلاب به تصفیه خانه نصب میشود و تقریباً اولین مرحله تصفیه بحساب می آید.

بعضی از غربالها برای حذف ذرات درشت تر استفاده میشوند و بنابراین فواصل میله ها در حدود ۳ الی ۱۰ سانتی متر میباشد. به این نوع آشغالگیر " دهانه باز " یا Coarse Screen گفته میشود . بعضی از غربالها نیز ذرات از ۰/۵ الی ۳ سانتی متر را جدا میسازند و بنابراین به آنها آشغالگیر " دهانه ریز " یا Fine Screen اطلاق میگردد.

افت هیدرولیکی در آشغالگیرها معمولاً در حدود ۰/۱ الی ۰/۳ متر در نظر گرفته میشود و از طریق محاسبات ریاضی نیز میتوان افت هیدرولیکی را محاسبه نمود.

معمولاً سرعت حرکت آب در کانال محل قرار گرفتن آشغالگیر در حدود ۱-۰/۶ متر بر ثانیه است و به این ترتیب با مشخص شدن ابعاد کانال عبور فاضلاب ، ابعاد آشغالگیر نیز قابل محاسبه میگردد.

$$Q = U \times A \qquad \& \qquad A = L \times H$$

$$\text{جریان } m^3/hr = \text{سرعت } m/hr \times Am^2$$

Q = شدت جریان حجمی فاضلاب برحسب متر مکعب در ثانیه

A = سطح مقطع کانال (متر مربع)

U = سرعت جریان فاضلاب در کانال (متر برثانیه)

H = عمق کانال برحسب متر

L = عرض کانال برحسب متر

در این رابطه برای تعیین A - سطح مقطع کانال - باید توجه داشت که غربال از میله هائی بقطر 10-30 mm تشکیل شده و بنابراین عرض کانال و عرض آشغالگیر باید طوری انتخاب شود که عرض واقعی یعنی فواصل بین میله ها حفظ گردد.

$$L = L' \times \frac{(a + b)}{(a)}$$

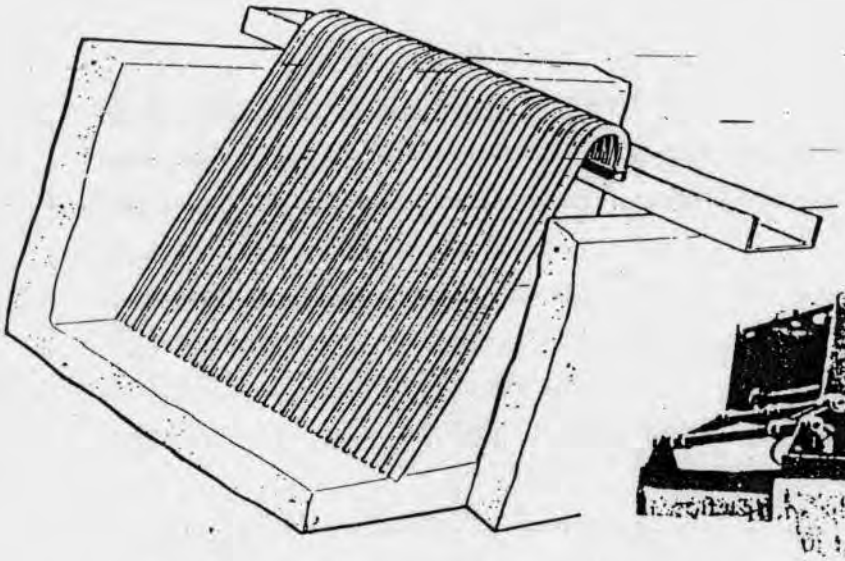
L = عرض کانال - عرض آشغالگیر

L' = عرض محاسبه شده

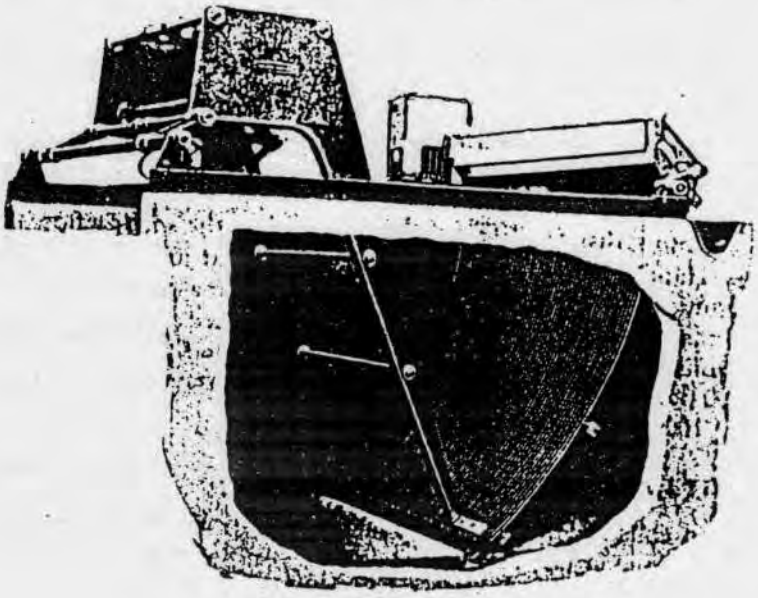
a = فواصل بین میله ها

b = ضخامت میله

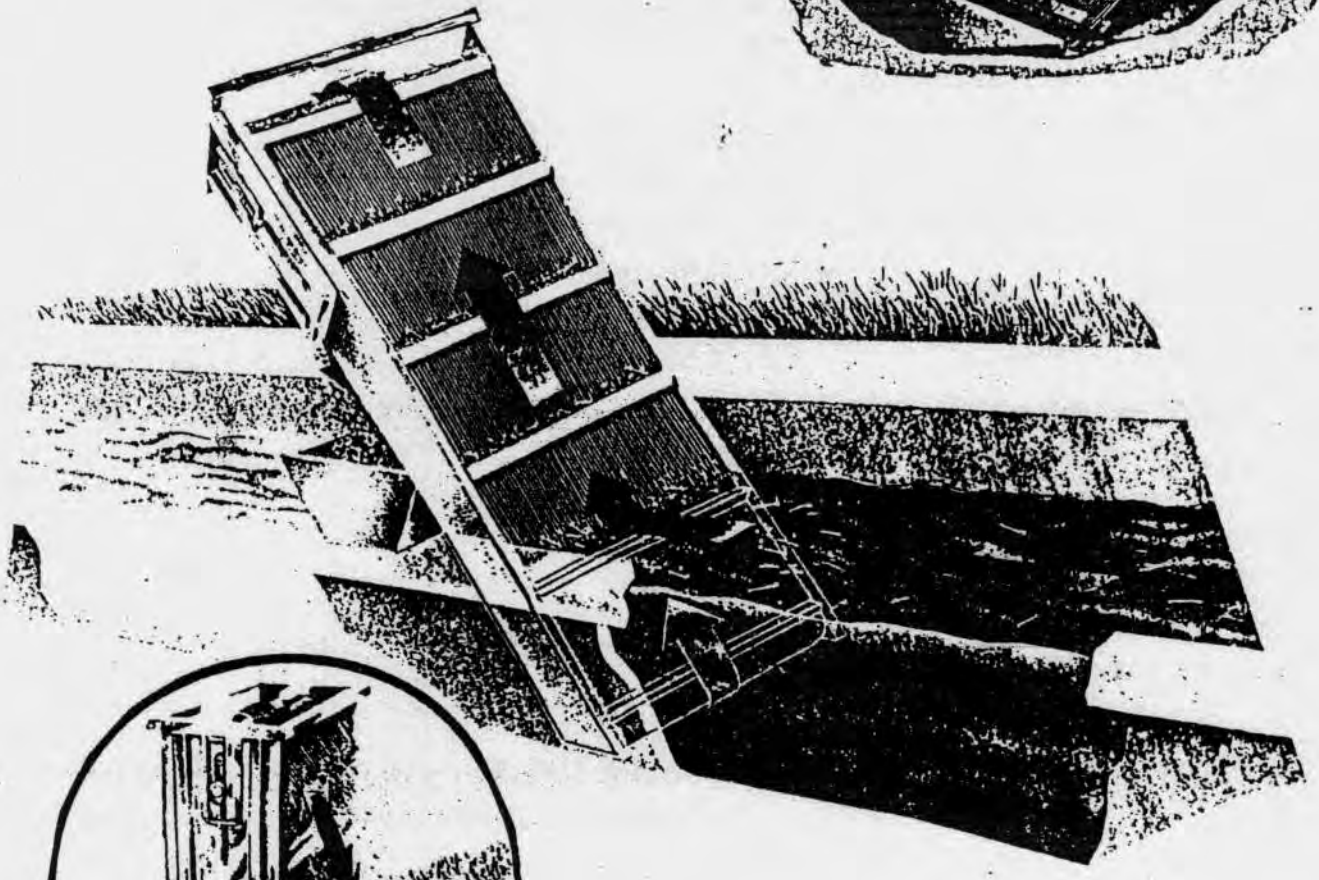
معمولاً استقرار آشغالگیرهای میله ای در کانال فاضلاب بنحوی است که زاویه 45 الی 60 درجه با افق میسازند و در این حالت بهترین نتیجه یعنی حداقل افت هیدرولیکی و بیشترین حذف آشغال صورت میگیرد.



آشغالگیر میله‌ای ساده

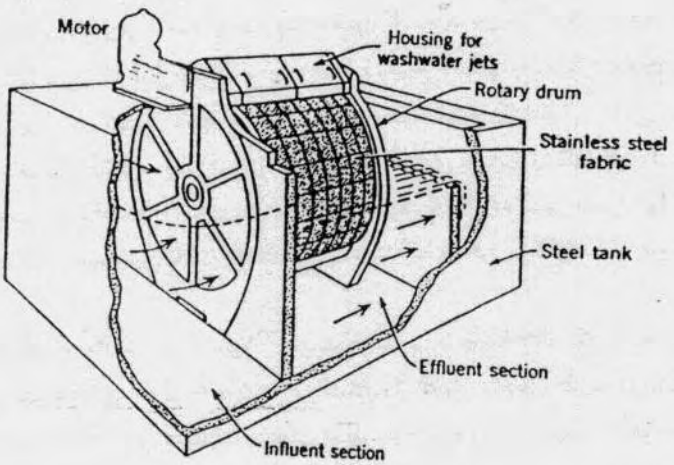


آشغالگیر میله‌ای مکانیکی



آشغالگیر از نوع "بالابر" Elevator Type

آشغالگیرهای بکار رفته در صنعت آب و فاضلاب دارای تنوع زیادی هستند . آشغالگیرهای مایکرواسکرین یا " دهانه بسیار ریز " Micro Screen معمولاً بشکل دوار ساخته شده و برای جدا سازی ذرات ریز بکار برده میشوند . این آشغالگیر دارای پوششی از نوع توری با منافذ بسیار ریز است که قابلیت جدا سازی ذرات با قطر کمتر از دهم میلیمتر را داراست . بعضی از انواع این نوع آشغالگیر ها معمولاً در تصفیه خانه های فاضلابهای صنعتی - مثلاً کشتارگاه های مرغ و برای حذف و یا گرفتن ذرات بسیار ریز مثل " پرمرغ " بکار برده میشوند.
چند نوع غربال در شکلهای ضمیمه نشان داده شده است .



(e)

غربال نوع
Micro-Screen
برای گرفتن ذرات بسیار ریز با
قطر کمتر از میلیمتر

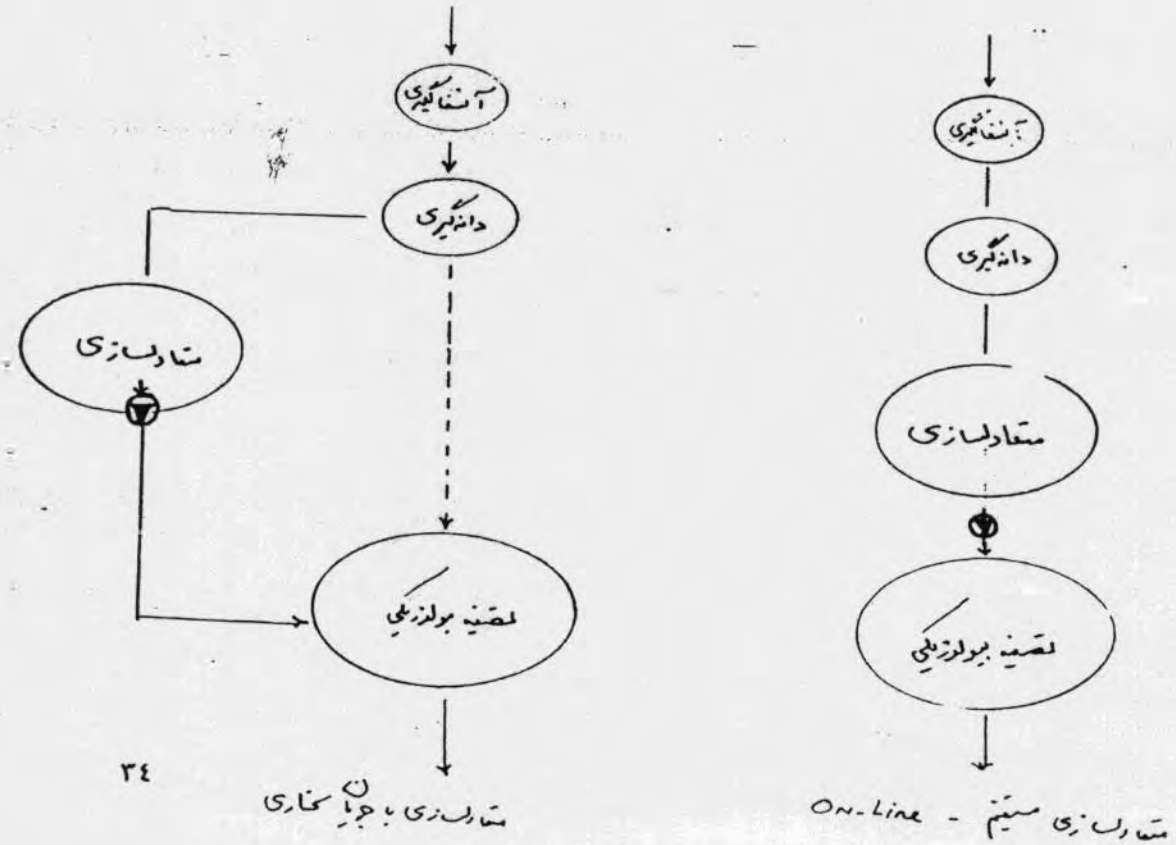
متعادل سازی " Equalisation "

عملیاتی که برای یکنواخت و همگن سازی پسابهائی که دارای شدت جریان و یا غلظت متغیر میباشند انجام میگیرد متعادل سازی می نامند. چنانچه در کلیه صنایع متداول میباشد غلظت فاضلاب در طول ساعت های مختلف روز و یا حتی در طول روزهای مختلف هفته تغییر می نماید و لذا برای اینکه تصفیه خانه دچار پذیرفتن بارهای ناگهانی نگردد ، فاضلاب باید از نظر غلظت و از نظر جریان حجمی متعادل شده و سپس مورد تصفیه واقع شود. تجربه نشان داده است که هر چقدر نوسانات کیفی و کمی فاضلاب کمتر باشد فرایند تصفیه (فیزیکی - شیمیایی یا بیولوژیکی) بهتر صورت میپذیرد.

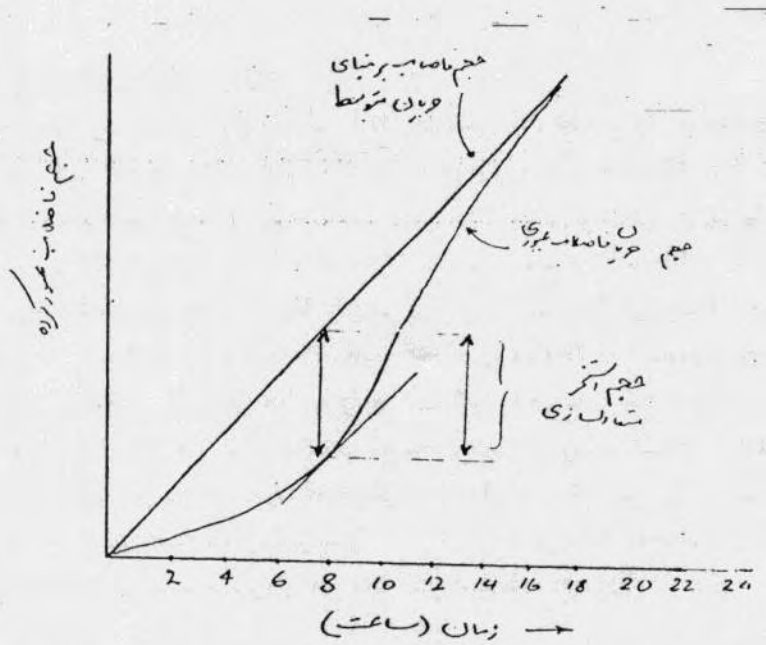
متعادلسازی در مورد فرایند تصفیه بیولوژیکی باعث میشود که بار آلی وارد بر سیستم بیولوژیکی و یا موادی که در غلظت زیاد اثر مسموم کننده ای بر روی میکروارگانیزم ها دارند تا حدودی متعادل و کنترل شده و حتی الامکان فاضلاب با غلظت یکنواختی که قابل قبول برای فعالیت میکروارگانیزمها باشد وارد مخازن تصفیه شود. متعادل سازی در تصفیه شیمیائی برای تسهیل در کنترل pH و یا کنترل میزان مواد منعقد کننده نیز نقش موثری دارد.

توقف و ماندگاری فاضلاب در مخازن متعادلسازی باعث سپتیک شدن (غیر هوازی و عفونی شدن) فاضلاب میگردد بنابراین مخازن متعادلسازی معمولاً هوادهی میشوند تا مانع ته نشین شدن مواد جامد و معلق و یا ایجاد شرایط غیرهوازی گردند. هوادهی همچنین باعث اختلاط و ایجاد شرایط همگن و یکنواخت میشود .

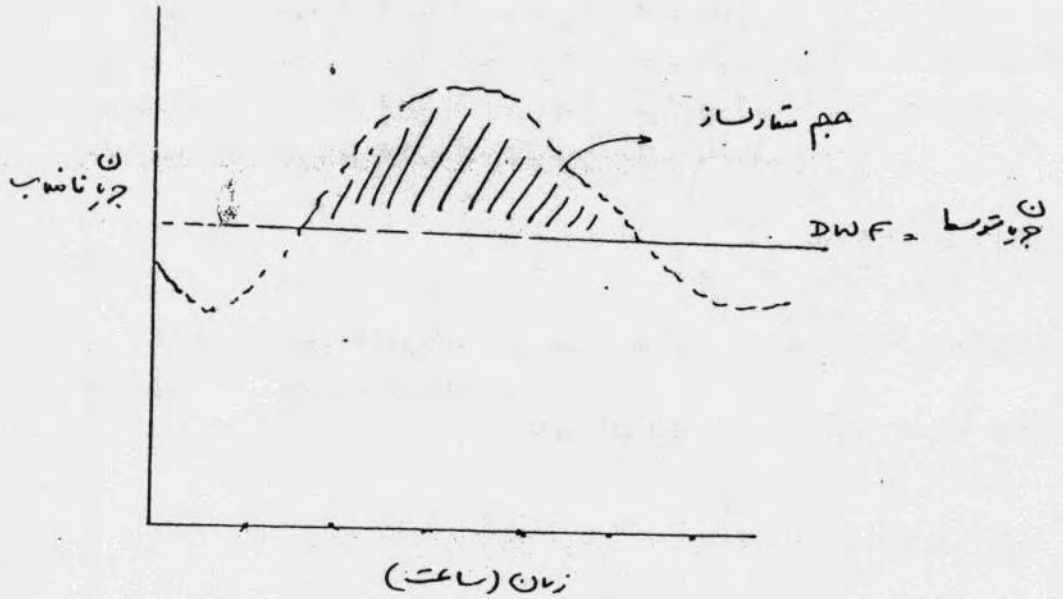
مخازن متعادلسازی معمولاً بصورت مستقیم یا On-Line بکار برده میشوند که در این حالت مخزن متعادلسازی در مسیر عادی فاضلاب قرار داده شده و فاضلاب از مخزن متعادل کننده به بخش بعدی بوسیله پمپ انتقال داده میشود. این امر در تصفیه خانه های فاضلاب صنعتی بسیار رایج بوده و اجرا میشود. در تصفیه خانه های شهری مخازن متعادل کننده بصورت جنبی احداث میشوند و فقط در موافعی که جریان آب بسیار بیشتر از حد متوسط است فاضلاب اضافی به مخزن متعادل کننده ارسال شده و سپس در زمان مقتضی آنرا به مسیر عادی برگشت میدهند.



متعادل سازی با جریان کناری — متعادل سازی سیستم On-Line



مقایسه حجم مخزن متعادلسازی با روش "حجم انباشته". حجم کل جریان عبورکرده در ساعات روز در مقایسه با حجم جریان عبورکرده برمبنای "جریان متوسط" ترسیم می‌شود. خط حداکثر "تفاوت" ترسیم شده دال خط نشان دهنده حجم جریان مازاد، حجم انبار متعادلسازی خواهد بود. (Metcalf راجع شود به)



طراحی مخازن متعادلسازی

طبق استانداردهای پیشنهادِ شده توسط دفتر مهندسی آب و فاضلاب وزارت نیرو ایران - انرژی مورد نیاز برای بهم زدن و مخلوط کردن فاضلابی که دارای ۲۰۰ میلیگرم در لیتر مواد جامد و معلق میباشد در حدود ۴ تا ۱۰ وات به ازاء هر متر مکعب حجم مخزن متعادلسازی میباشد. این رقم در بعضی از مراجع بسیار معتبر در محدوده ۱۲- ۱۸ وات به ازاء هر مترمکعب حجم مخزن متعادلسازی فاضلاب ذکر شده است (کتاب Metcalf & Eddy).

در مورد فاضلابهائی که دارای مقادیر زیادی مواد آلی هستند هوادهی فاضلاب بمیزان ۱۵ میلی گرم در لیتر اکسیژن در ساعت نیز پیشنهاد شده است تا فاضلاب عفونی (سپتیک) نگردد. مقدار هوای مورد نیاز برای ایجاد اختلاط در بعضی از مراجع ۱۰ الی ۲۰ لیتر هوا ، به ازاء هر مترمکعب حجم مخزن متعادلسازی در دقیقه پیشنهاد شده و در پاره ای دیگر از مراجع آنرا ۱۵ الی ۳۰ لیتر به ازاء هر متر مکعب حجم مخزن متعادلسازی (Melcalf t al.) ذکر نموده اند.

بهر حال بنظر میرسد که درمورد فاضلابهائی که احتمال سپتیک شدن زیاد وجود دارد ، مثل فاضلاب کشتارگاهها - صنایع غذائی و ...) بهتر است ارقام بالاتر یعنی ۲۰ - ۳۰ لیتر هوا در دقیقه بازاء هر متر مکعب را رعایت نمود و در فاضلابهائی که بسادگی سپتیک نمیگردند و هوادهی فقط نقش اختلاط را دارد رقم ۱۵ (لیتر هوا در هر مترمکعب در دقیقه) کاملاً کافی است .

برای محاسبه حجم مخزن متعادلسازی از روشهای خاصی میتوان استفاده نمود.

یکی از روشهای محاسبه حجم مخزن متعادلسازی روش گرافیکی و با استفاده از منحنی جریان حجمی انباشته به ازاء زمان است . در این روش که در شکل ضمیمه نشان داده شده است جریان حجمی انباشته به ازاء زمان ترسیم شده و مماس براین منحنی بر نقطه ای که موازی خط جریان حجمی متوسط است رسم میشود. فاصله بین مماس و خط جریان حجمی متوسط نشان دهنده حجم مخزن متعادل کننده میباشد.

در فاضلابهای صنعتی حجم استخر متعادل سازی معمولاً بر مبنای یک سیکل کامل نوسانات انتخاب میگردد . بعبارت دیگر اگر شدت جریان با خصوصیات فاضلاب دچار نوساناتی است که هر چند ساعت یکبار تکرار میگردند ، بهتر است حجم مخزن را برای یک پریود کامل انتخاب نمود تا این نوسانات را متعادل سازند. بعنوان مثال اگر یک کارخانه نساجی با فاضلابی در حدود ۱۰۰۰ مترمکعب در روز در نظر گرفته شود ، چون نوسانات جریان هر ۴ تا ۶ ساعت یکبار صورت میگیرد، حجم مخزن متعادلسازی و انرژی لازم برای جلوگیری از سپتیک شدن عبارت خواهد بود از :

$$V = Q \times t = (1000/24) \times 6 = 250 \ m^3$$

$$P = Power = 250 \times (20) = 5000 \ Watts = 5 \ Kw$$

مخزن متعادلسازی به حجم ۲۵۰ مترمکعب مجهز به میکسر بقدرت ۵ کیلووات نیاز است . اگر از هوا برای متعادلسازی استفاده شود ، مقدار هوای مورد نیاز عبارتست از :

$$Air = 250 \times (20/1000) = 5 \ m^3 \ per \ minute = 300 \ m^3 \ per \ hr$$

خنثی سازی Neutralisation

تنظیم pH پسابهای اسیدی قوی یا بازی قوی جزو عملیات واحدی است که به آن خنثی سازی گفته میشود. در تصفیه پسابهای صنعتی معمولاً خنثی سازی و متعادلسازی همراه هم و تواماً انجام میشود.

خنثی سازی پسابها قبل از هر یک از عملیات زیر ضروری است .

۱) در تصفیه بیولوژیکی که بهترین pH برای رشد میکروارگانیزم ها pH حدود 8.5 - 6.5 است .

۲) در تصفیه فیزیکی - شیمیائی که pH مناسب برای انعقاد و لخته سازی باید تعیین گردد.

۳) برای دفع پسابها به آبهای روان سطحی که pH باید در حد استانداردهای تعیین شده باشد.

روش های خنثی سازی بنا بر ماهیت فاضلاب و وجود مواد شیمیائی و pH آن میتواند بسیار متفاوت باشد ولی بطور معمول عبارتست از :

خنثی سازی محیطهای اسیدی

پسابهای اسیدی بکمک ترکیب با مواد قلیائی مثل سود کاستیک - آب آهک و یا بوسیله عبور پساب از بستر سنگ های آهکی خنثی میشوند. (آب آهک یا دوغاب آهک بعلت ارزان بودن و بسادگی در دسترس قرار داشتن از امتیاز قابل توجهی برخوردار است .)

خنثی سازی محیطهای قلیائی

پسابهای بازی را بوسیله اسید معمولاً اسید سولفوریک یا اسید کلرئید ریک و یا گاز دودکش بویلر که دارای ۱۲ الی ۱۴٪ اکسید کربن CO_2 میباشد خنثی میسازند. (گاز CO_2 در آب تشکیل اسید کربنیک میدهد که قابلیت خنثی سازی محیط قلیائی را داراست).

روش تعیین مقدار اسید یا باز مورد نیاز بتوسط تیترکردن مقدار معینی از فاضلاب با ماده خنثی کننده مورد مصرف صورت میگیرد.

انتخاب سیستم کنترل pH در خنثی سازی بسیار مهم است و نقش اصلی را ایفا میکند. ولی این امر بدلایل زیر بسیار مشکل میباشد:

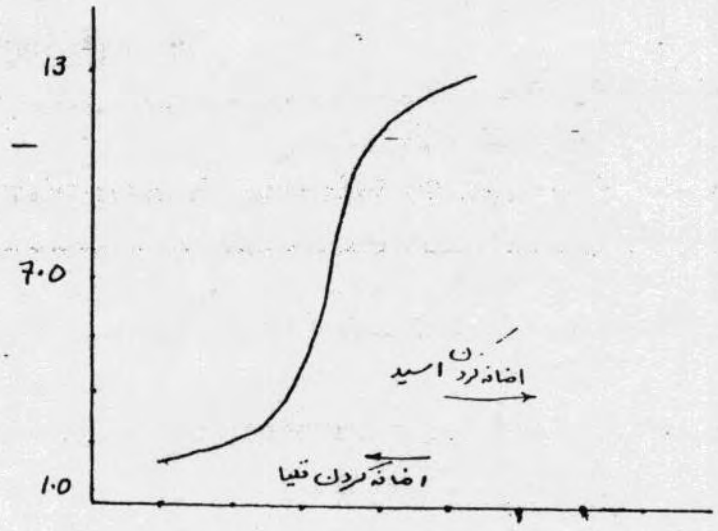
۱- رابطه بین مقدار ماده خنثی کننده و pH رابطه ای غیرخطی است .

۲- pH ورودی ممکن است بطور ناگهانی چندین درجه کم یا زیاد شود.

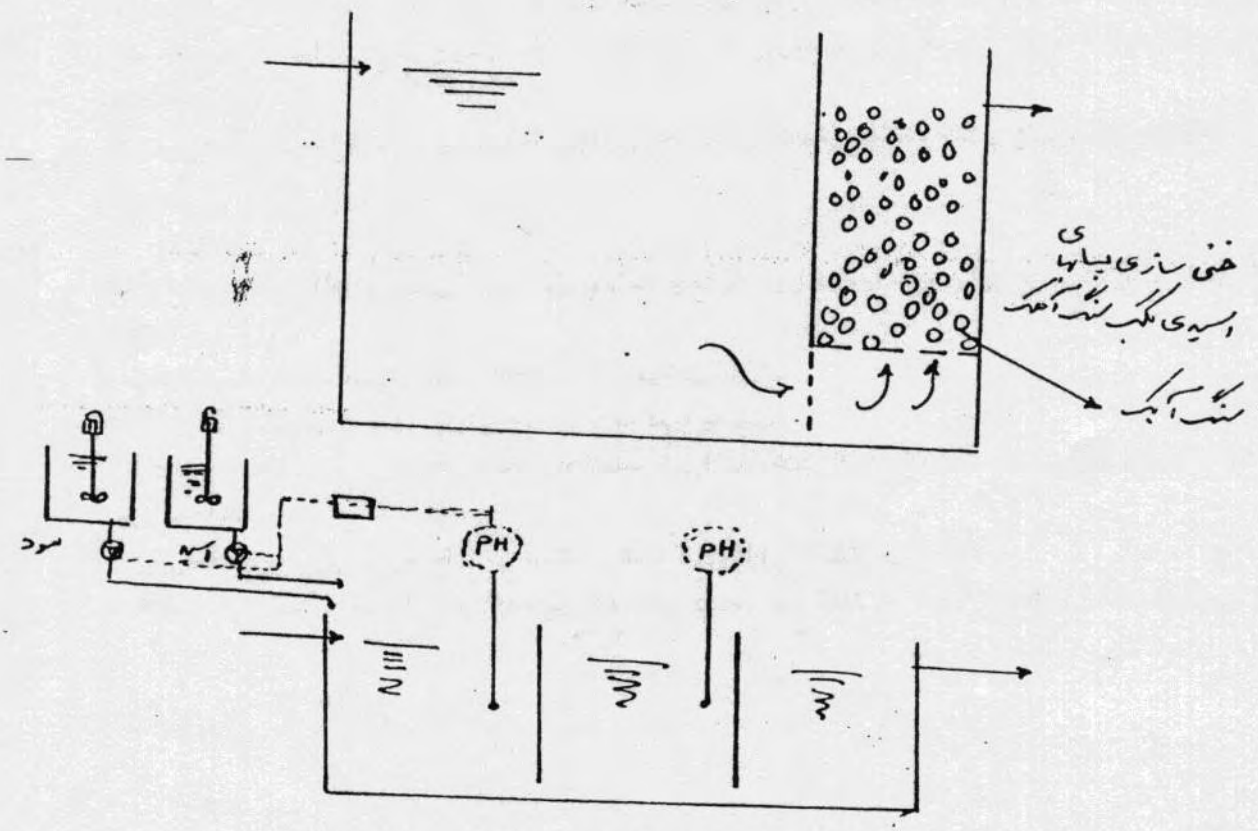
۳- pH در حالت خنثی بسیار حساس است و فقط مقدار کمی از ماده خنثی کننده کافیست که تغییر زیادی در نقطه pH تعیین شده ایجاد کند.

۴- ذراتی مثل چربی روی الکترودها را می پوشانند و اندازه گیری pH را باختلال می اندازند.

۵- ظرفیت بافر پسابها اثر عمده ای در رابطه بین ماده خنثی کننده و pH گذاشته و الزاماً این ظرفیت ثابت باقی نمی ماند.



منحنی خنثی سازی و تغییرات pH



خنثی سازی پساب های اسیدی یا قلیائی

(۳۶-a)

شناورسازی FLOATATION

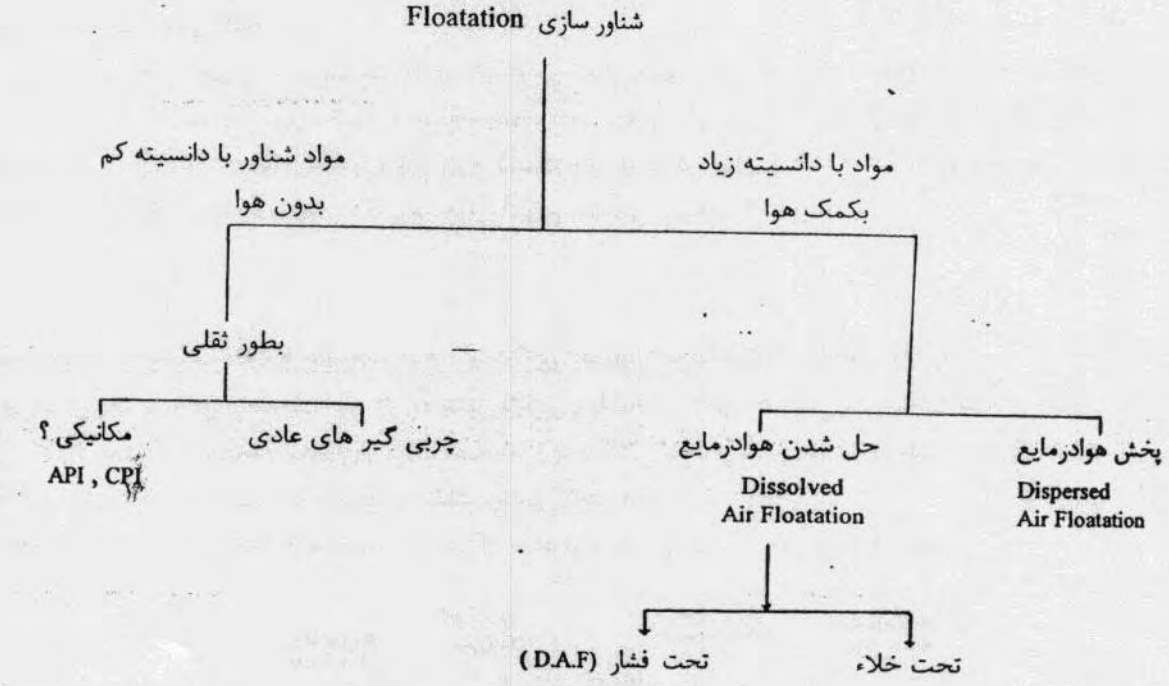
شناور سازی کاملاً عکس ته نشینی میباشد و برای جداکردن مایع از جامد و یا مایع از مایع (بخصوص چربی گیری) بکار میرود.

از این روش زمانی استفاده میشود که فاز جدا شونده که بصورت ذرات معلق و شناور و یا بصورت مایع دیگری میباشد قابل ته نشینی نباشد.

بنابراین شناور سازی برای اهداف زیر بکار برده میشود :

- حذف الیاف و موادسبک و شناور در فاضلاب.
- حذف چربی و روغن
- تغلیظ لجن بوسیله شناور سازی لجن

عمل شناور سازی بر اصل شناور کردن و بر روی سطح مایع آوردن فاز جدا شونده بطور طبیعی و یا بوسیله حبابهای هوا قرار گرفته و با توجه به کیفیت فاز جدا شونده و نحوه کاربرد آن ، میتوان این روش جداسازی را با توجه باینکه بوسیله هوا انجام گرفته ویا بدون هوا و یا تحت فشار انجام شده و یا فشار اتمسفریک بصورت شکل ضمیمه تقسیم بندی نمود.



روشهای مختلف شناورسازی

همانگونه که ملاحظه میگردد معمولاً شناور سازی بکمک هوا صورت میگیرد ولی روشهای شناور سازی ساده و یا با کمک تجهیزات مکانیکی از جمله API و CPI نیز در تصفیه فاضلابهای صنعتی بسیار نقش دارند.

C.P.I = Corrugated Plate Interceptor

A.P.I = American Petroleum Institute

در تصفیه خانه های فاضلاب صنعتی معمولاً از شناور سازی برای حذف چربی و روغن استفاده میشود. در این موارد سیستمهائی مثل A.P.I (شناور سازی عادی با مکانیزم جمع آوری روغن از روی سطح آب) و یا C.P.I (صفحات موج دار که بصورت موازی در کانال قرار میگیرند) کاربرد زیادی دارند بخصوص در تصفیه پساب پالایشگاههای نفت.

بعضی از مواد معلق بسهولت روی سطح آب شناور نشده و لذا برای کمک به شناور سازی - انعقاد و لخته سازی با استفاده از مواد منعقد کننده مثل املاح آلومینیوم (سولفات آلومینیوم) و یا آهن غالباً ضروریست و باین وسیله ذرات معلق بسیار درشت تر شده و راحت تر شناور میشوند.

شناور سازی سیستم API

این روش که در پالایشگاههای نفت بسیار متداول است ، نوعی شناورسازی ساده محسوب شده و معمولاً برای شناورسازی مواد بسیار سبک که بسادگی روی سطح آب جمع میشوند (مثل روغن های سبک ، نفت ، گازوئیل و ...) بکار برده میشود سیستم API از یک مخزن بطول زیاد و با عرض کم (نسبت طول به عرض بیش از ۳ به ۱ است) ، و با عمق حداکثر ۲ الی ۲/۵ متر تشکیل شده که مجهز به مکانیزم چربی گیری سطحی میباشد. (شکل ضمیمه)

شناورسازی با سیستم CPI یا صفحات موج دار موازی Corrugated Plate Interceptor

در این روش یک بسته ای از صفحات موج دار که بطول موازی و با فواصل ۲ الی ۵ سانتی متر ساخته شده و در یک مخزن قرار میگیرند. نقش این صفحات جداسازی ذرات سبک تر (یا سنگین تر) از مایع باشد و در حقیقت با استفاده از این صفحات حجم مخزن ته نشینی را میتوان به مقدار زیادی کاهش داد.

در بعضی از موارد بجای استفاده از صفحات موج دار از بسته لوله های موازی نیز استفاده شده است .

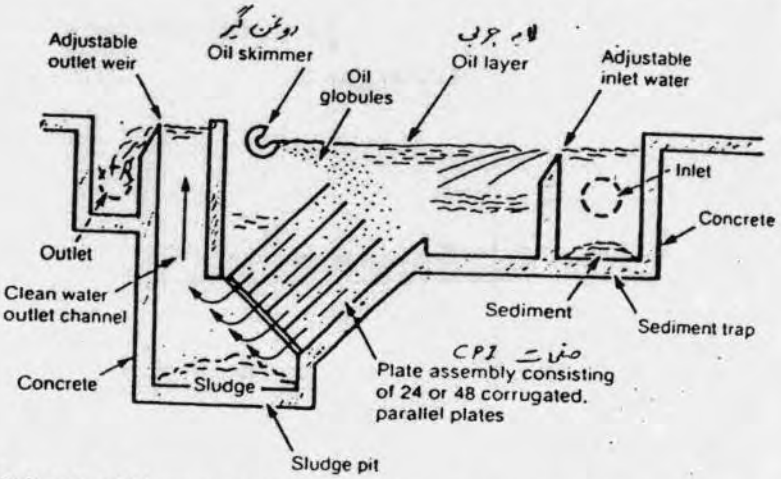


FIG. 11.6 CPI (corrugated plate interceptor) separator uses density difference between oil and water to separate free nonemulsified oil from wastewater.

شناور سازی بکمک هوای محلول (تحت فشار) Dissolved Air Floatation

سیستم D.A.F که از هوای تحت فشار استفاده میکند کاربرد های فراوانی دارد وبخصوص برای تغلیظ لجن و همچنین برای جداسازی ذرات و مواد شناوری که دانسیته نزدیک به آب دارند (و یا بعضاً از آب سنگین تر هستند) بکار برده میشود. (مثل حذف چربی و روغن در کشتارگاهها - در تصفیه فاضلاب کارخانجات روغن نباتی و ...).

در فرایند شناور سازی با هوای محلول (تحت فشار) ، ابتدا هوا در حجم معینی در فاضلاب حل میگردد و سپس فاضلابی که با هوای تحت فشار مخلوط شده وارد مخزن شناور سازی شده و یکباره فشار به حد اتمسفریک کاهش داده میشود تا هوای حل شده در آب بصورت حبابهای ریز از محیط آب خارج و بسطح آب صعود نماید . حبابهای هوا به ذرات معلق شناور در فاضلاب چسبیده و باعث سبک شدن این ذرات و صعود آنها بسطح آب میشوند. باین ترتیب ذرات معلق شناور شده و از سطح آب بوسیله مکانیزم مکانیکی و یا بوسیله " سرریز " روبیده و جدا میشوند .

در سیستمهای شناور سازی بکمک هوا DAF، محاسبه میزان هوای مورد نیاز ، علاوه بر محاسبه سطح مخزن ضرورت دارد.

بنابراین اجزاء سیستم شناورسازی تحت فشار " دف DAF " عبارتست از :

- مخزن تحت فشار برای حل نمودن " هوا در آب " که قابلیت تحمل فشار عملیاتی در حدود ۳ الی ۵ اتمسفر را داشته باشد.
- کمپرسور برای تامین هوای در مقدار و فشار مورد نیاز.
- مخزن (تانک) شناور سازی مجهز به سیستم لجن روبی سطحی.
- پمپ انتقال فاضلاب که قابلیت ایجاد فشار مورد نیاز را داشته باشد.
- شیر فشار شکن برای کاهش فشار از حدود ۵ بار به حدود یک بار.
- لوله و اتصالات و لوازم جنبی برای ارتباط مخازن.
- در بعضی از انواع سیستم DAF میزان جریان برگشتی نیز در طراحی سیستم نقش دارد.

در روش D.A.F پارامتر اصلی نسبت هوا به مواد جامد $\frac{Air}{Solid} = \frac{A}{S}$ است که معمولاً A/S = 0.02 - 0.06 انتخاب میگردد.

اگر مقدار هوای آزاد شده در مخزن تعیین گردد :

$Air = A = Q(C_1 - C_2)$ مقدار هوای آزاد شده

$Q =$ شدت جریان تحت فشار

$C_1 = mg/l$ غلظت هوا در آب تحت فشار

$C_2 =$ غلظت هوا در آب بعد از آزاد شدن فشار

$$\therefore A = QC_s\left[f\left(\frac{P}{14.7}+1\right)-1\right]$$

با استفاده از قانون هنری که که غلظت گاز در مایع را تابع فشار میداند)

$f = 0.5 - 0.8$ ضریب درصد اشباع هوا در آب معمولاً

$P = (lb/in2)$ فشار نشان داده شده روی فشار سنج (فشار گیج Gauge)

$Cs = mg/lit$ غلظت هوا در حالت اشباع

C°	ml /l	mg/l
0	28.8	37.2
10	23.5	29.3
20	20.1	24.3
40	16.4	18.5
60	15.0	15.9

غلظت هوای اشباع در آب در دماهای مختلف

(مقدار Cs که غلظت هوا در آب در حالت اشباع است در دماهای مختلف متفاوت و تابع درجه حرارت آب میباشد).
حال اگر سیستم D .A.F دارای جریان برگشتی با شدت R باشد. نسبت A/S به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$A/S = \frac{RC_s}{QX_0}\left[f(\frac{P}{14.7}+1)-1\right]$$

X_0 = غلظت مواد معلق و شناور

(توجه شود که چون معمولاً جریان برگشتی تحت فشار هوا قرار میگیرد بنابراین مقدار هوای حل شده فقط بر مبنای هوای محلول در جریان R محاسبه میگردد) . QX0 مقدار کل جامدات همراه با پساب است .

سیستم DAF بدون برگشت جریان.

$$\therefore\ A = QC_s\left[f(\frac{P}{14.7}+1)-1\right]$$

با جریان برگشتی R

$$A = RC_s\left[f\left(\frac{P}{14.7}+1\right)-1\right]$$

و برای محاسبه بار سطحی از رابطه مقابل استفاده میشود :

S.L.R = Surface Loading Rate

$$S.L.R = \frac{Q+R}{A^*} = m3/m2.\ day$$

که در رابطه فوق A^* سطح مخزن شناورسازی است .

در طراحی سیستمهای D.A.F معمولاً ارقام زیر بکار برده میشود :

- فشار هوا در مخزن تحت فشار P : 2.4 - 4.5 atm یا 40 - 70 psi
- درصد جریان برگشتی R/Q : 50 - 400 % (اعداد دست بالا مربوط به تغلیظ لجن است)
- نسبت هوا به جامدات : A/S : 0.02 - 0.06
- بار سطحی هیدرولیکی : H.L.R : 20 - 200 مترمکعب به ازاء مترمربع در روز
- بار سطحی (جامدات) : S.L.R : 8 - 140 کیلوگرم به ازاء مترمربع در روز

مثال : یک سیستم شناورسازی از نوع DAF را برای تغلیظ لجن یک تصفیه خانه فاضلاب از غلظت 0.7 % به 4% طرح کنید ؟ شدت جریان حجمی لجن 400 مترمکعب در روز است .

این ارقام را میتوان فرض نمود : $f = 0.6$ ، $Cs = 24.3$ ، $A/S = 0.02$ ،

$H.L.R = 20\ m^3/m^2\ day$ ، $P = 51\ psi \approx 3.5\ atm$

$$A/S = (R/Q) \cdot \frac{Cs\,[\,f\,(P/14.7 + 1) - 1\,]}{X_0}$$

$$\therefore 0.02 = (R/Q) \cdot \frac{24.3\,[\,0.6\,(4.5) - 1\,]}{7000}$$

غلظت لجن $0.7\% = 7000\ mg/l$

ضریب اشباع $f = 0.6$

$\therefore R/Q = 3.39$ یا 339 %

$Qr = 3.39 \times 400 = 1355\ m^3/day$ غلظت شدت جریان برگشتی

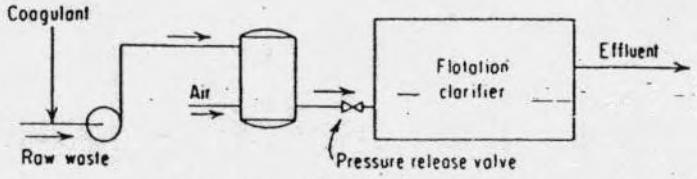
$$H.L.R = \frac{Q + Qr}{A^*} \Rightarrow A^* = \frac{1355 + 400}{20} = 88\ m^2$$ سطح مخزن شناور کننده

$$S.L.R = \frac{400 \times 7000 \times 10^{-3}}{88} = 32\ kg/m^2.day$$ بار لجن - بار سطحی جامدات

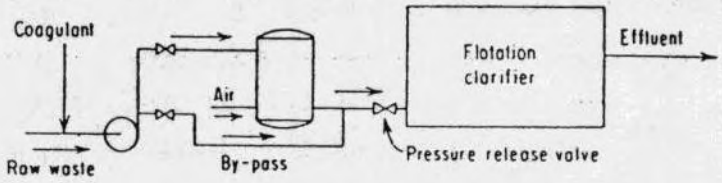
مقدار هوا $\Rightarrow A = Rcs\,[\,f\,(P/14.7 + 1) - 1\,]$

$= 1355 \times 24.3 \times (0.6 \times 4.5 - 1) = 56000\ gr/hr$

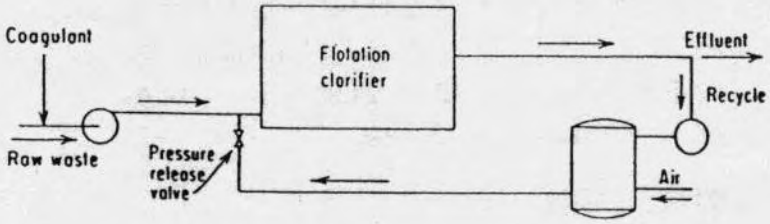
$= 56/1.2 = 46\ m^3/hr \Rightarrow 1100\ m^3/day$



(a) Total aeration of raw waste



(b) Partial aeration of raw waste



(c) Aeration of recycle

FIG. 9.23 Several operating schemes for air flotation clarification.

طرح های مختلف سیستم DAF

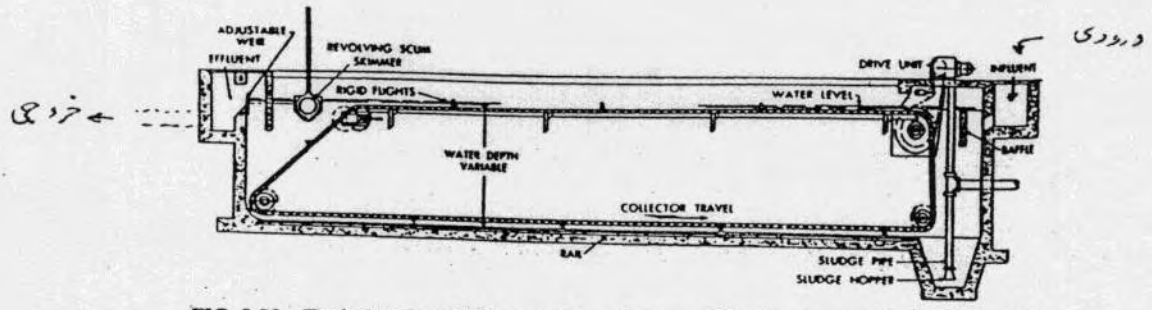
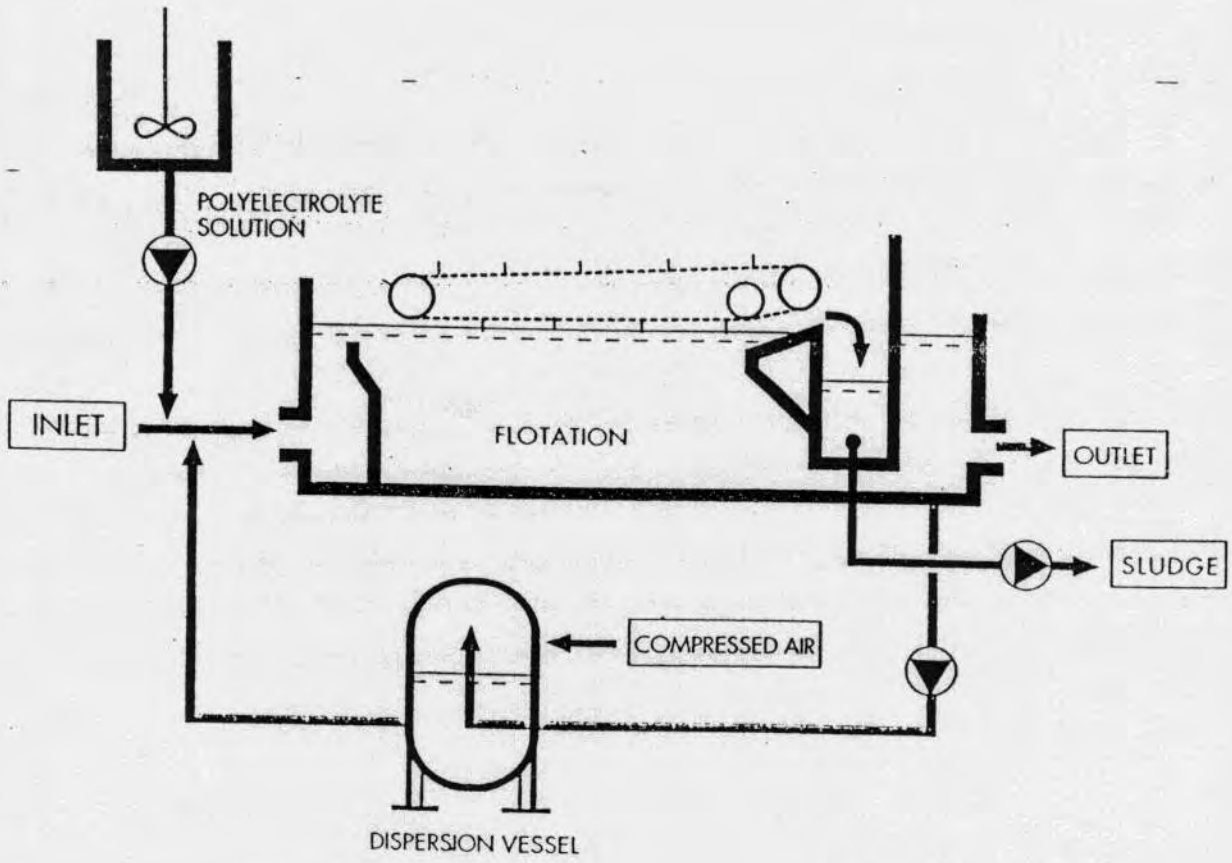
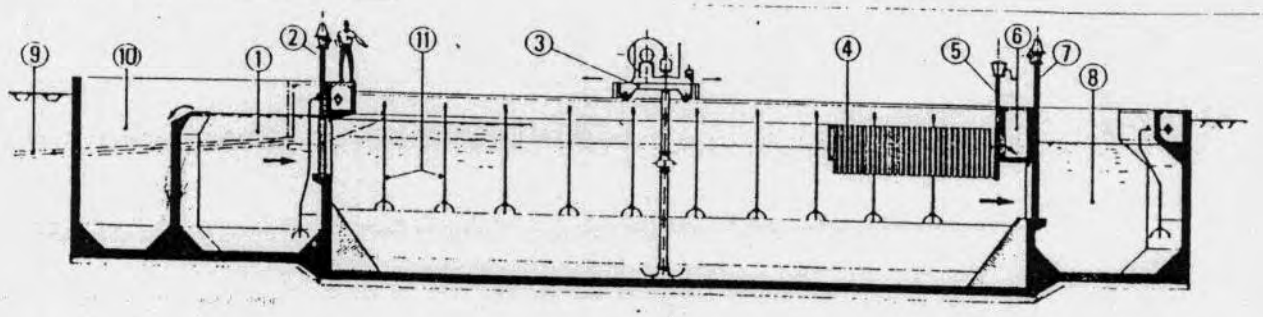


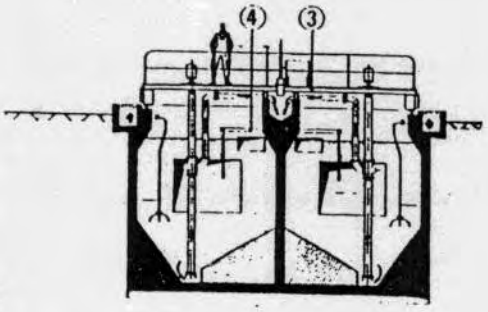
FIG. 9.22 Typical design of API separator. *(Courtesy of Envirex, Inc., a Rexnord Company.)*

سیستم API



سیستم شناورسازی DAF





1. *Intake channel.*
2. *Inlet gate.*
3. *Travelling bridge for grit suction.*
4. *Stilling picket fence.*
5. *Oil removal gate.*
6. *Oil discharge channel.*
7. *Outlet gate.*
8. *Outlet channel, feeding the settling tank.*
9. *Grit discharge.*
10. *Overflow by-pass.*
11. *Submerged air blowing pipes.*

97

اجزاء یک کانال دانه گیر - مجهز به پل متحرک برای تخلیه دانه ها

(۹-۱۷)

انواع ته نشینی

ذرات معلق و شناور به چهار طریق مختلف (بستگی به نوع ذرات) ته نشین میشوند که این چهار نو ع عبارتند از:

- ته نشین شدن ذرات منفک و موادی که بکلی از هم مجزا بوده و هنگام سقوط سرعت ثابتی را حفظ میکنند (مثل سقوط شن و ماسه در آب) .

- ته نشینی لخته ای مربوط به ته نشین سازی ذراتی که بهنگام سقوط با یکدیگر تشکیل توده ها و لخته هائی را میدهند و چون وزن آنها سنگین تر میشود بهنگام سقوط سرعت سقوط آنها بیشتر میشود. مثل ته نشین شدن همراه با انعقاد و لخته سازی.

۳- ته نشینی ناحیه ای یا رسوب شدن ذراتی که بهیچ یک از دو گروه فوق بستگی ندارند . این مواد بهنگام سقوط ، تعادل سایر ذرات را بهم میزنند و در نتیجه در سطوح مختلف تانک رسوب سازی غلظت مواد معلق بصورت فاز های گوناگون متفاوت میباشد و حد فاصل دو فاز بخوبی قابل تشخیص میشود.

۴- ته نشین سازی با تراکم : یا ته نشین سازی ذراتی که بگروه ۳ تعلق دارند ولی در هنگام رسوب لایه هایی را که در سطح پائین تر قرار دارند تحت فشار گذاشته و در نتیجه در کف مخزن ته نشینی متراکم شده و لایه سنگینی تشکیل میدهند و حد فاصل این لایه بخوبی مشخص است و روی این لایه سطوح مختلفی از فاز های مواد معلق با غلظت های گوناگون پدیدار میشود.

ته نشینی نوع اول یا سقوط ذرات مجزا . یا سقوط آزاد

طبق قانون نیوتون در حالت پایدار که سرعت سقوط به حد ثابتی رسیده است ، نیروی سقوط ذرات برابر است با نیروی اصطکاک (در حالت یکنواختی نیروی ثقل برابر است با نیروی کشش یا نیروی اصطکاک)

که W نیروی وزن و F نیروی کشش و یا اصطکاک است .

طبق قانون ارشمیدس هر ذره در محیط مایع باندازه وزن مایع هم حجم خودش سبک میشود بنابراین :

$$W = (\rho s - \rho)\ g.V \qquad (1)$$

که در این رابطه W نیروی وزن ، ρ_s وزن مخصوص جامد (ذره) و ρ وزن مخصوص مایع (فاضلاب) و V حجم ذره و g شتاب ثقل میباشد.

نیروی کشش (اصطکاک) طبق قانون استوک برابر است با :

$$F = C_D \cdot A \cdot \rho \cdot V_e^2 / 2 \qquad (2)$$

نیروی سقوط . وزن مخصوص مایع . مساحت سطح مقطع . ضریب کنش = نیروی کشش

با برابر کردن ۲ رابطه (۱) و (۲)

$$F = W$$
$$C_D \cdot A \cdot \rho \cdot V_c^2 / 2 = V \cdot g \cdot (\rho_s - \rho)$$

سطح مقطع ذره (سطح مقطع کره)	=	A
حجم ذره (حجم کره)	=	V
سرعت سقوط ذره در محیط مایع	=	V_c
قطر ذره کره ای شکل	=	d
ضریب نیروی کشش	=	C_D

$$\therefore V_c = \left\{ \frac{4}{3} \frac{g \cdot d (\rho_s - \rho)}{C_D \cdot \rho} \right\}$$

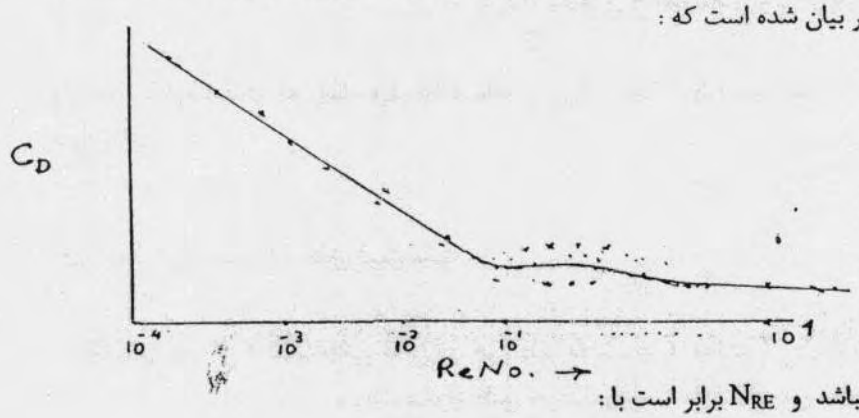
با فرض آنکه ذرات معلق وشناور کروی شکل هستند

$$A = \pi \cdot d^2 / 4 \quad , \quad V = \pi \cdot d^3 / 6$$

حال با جایگزینی A و V در رابطه فوق رابطه ای برای C_D میتوان بدست آورد :

$$C_D = \frac{24}{N_{RE}} + \frac{3}{\sqrt{N_{RE}}} + 0.34$$

طبق آزمایشاتی که انجام گرفته ضریب نیروی کشش تابعی است از .Reynolds.No , (N_{RE}) بطوریکه رابطه ضریب کشش و عدد رینولدز بشکل زیر و طبق رابطه زیر بیان شده است که :



در حالیکه عدد رینولدز قابل محاسبه میباشد و N_{RE} برابر است با :

$$N_{RE} = \rho \cdot V_c \cdot d. / \mu$$

(μ ویسکاسیتی مایع میباشد).

در رابطه (۴) و مطابق شکل مقابل هر گاه $N_{RE} < 0.5$ باشد از دو عامل دوم و سوم دست راست رابطه (۴) میتوان گذشت یعنی :

$$C_D = \frac{24}{N_{RE}} = \frac{24 \mu}{\rho \cdot V_c \cdot d} \qquad (N_{RE} < 0.5)$$

با جانشین کردن رابطه (۵) در رابطه (۳) :

و قراردادن وزن مخصوص فاضلاب ρ برابر با ۱ ، $(\rho - 1)$

$$V c = (1/18) \cdot g \cdot d^2 \cdot (\rho_C - \rho) / \mu$$

$$Vc = (1/18) \cdot g \cdot d^2 \cdot (\rho s - 1) / (\mu/\rho)$$

V_c همان سرعت سقوط آزاد است و بنابراین هرگاه ذراتی که طراحی سقوطی مساوی و یا بیشتر از V_c باشند در تانک رسوب سازی ته نشین خواهند شد و بنابر این فرضیه در تانکهای ایده آل پارامتر طرح V_c خواهد بود.

مثال : سر عت سقوط ذراتی را در فاضلاب در ۲۰ درجه سانتی گراد تعیین کنید در حالیکه ذراتی کروی شکل ، دارای وزن مخصوص ۲/۶۵ و قطر ۵×۱۰^{-۳} سانتی متر باشند ویسکاسیتی آب ۲۰ درجه معادل $\mu = ۱/۰۱ \times ۱۰^{-۲}$ سانتیمتر در ثانیه میباشد.

$$Vc = (1/18) \cdot g \cdot d^2 \cdot (\rho s - \rho) / \mu$$

$\mu = 1/01 \times 10^{-2}$ cm2 /sec , $g = 981$, $\rho s = 2.65$ $d = 5 \times 10^{-3}$ cm

سرعت سقوط بر حسب سانتی متر در ثانیه $Vc = 0.22$ cm/sec

ولی چون معلوم نیست که رابطه فوق صادق باشد یا نه باید N_{RE} را حساب کرد تا اگر کمتر از ۰/۵ باشد رابطه فوق را قابل قبول بدانیم .

$$NRE = \rho \cdot Vc \cdot d / \mu$$

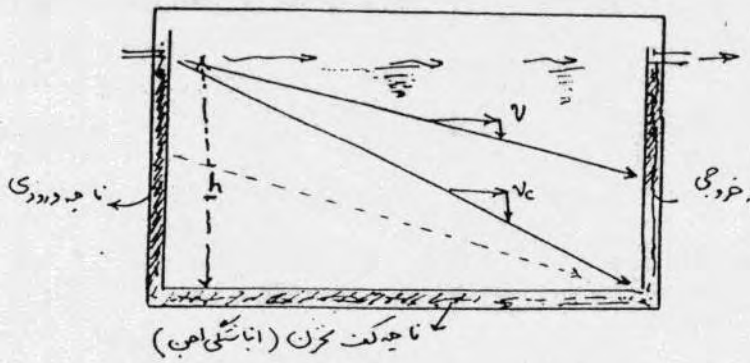
چون کمتر از ۰/۵ مینباشد قابل قبول است .

در تانکهای ایده آل (تانک هائی که دارای جریانهای عادی و غیره نباشند) روابط نیز برقرار است .

$Vc = h/\theta$ سرعت سقوط طبق تعریف برایراست با ارتفاع طی شده در زمان θ

$V = Q/A$ از طرف دیگر سرعت سقوط برایراست با سرعت سطحی

$\theta = Vl/Q$, زمان ماند متوسط در مخزن ته نشینی برابراست با



جابجائی ذرات در مخازن ته نشینی ایده آل

θ زمان توقف و h ارتفاع (عمق) و $\overline{VI}$ حجم مخزن ته‌نشینی ، Q شدت جریان متوسط ، A مساحت سطح مقطع تانک است .

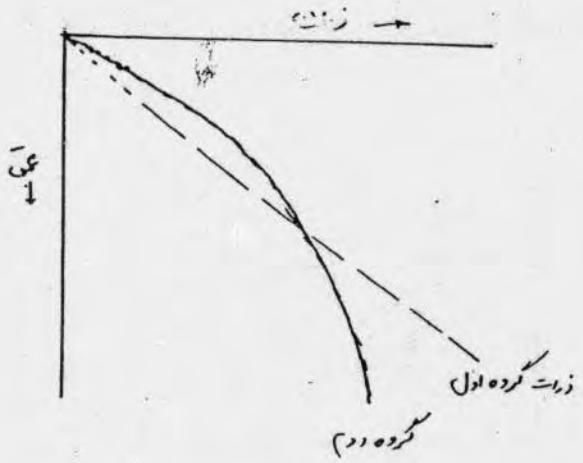
در نتیجه تمام ذراتی که سرعت سقوط آن ها بیشتر و یا مساوی $V = Q/A$ است ته نشین خواهند شد و چون Q/A ، بنابر تعریف سرعت جریان سطحی میباشد بنابراین در تانکهای ایده ال سرعت سقوط برابر است با سرعت جریان سطحی (در تانکهای ایده آل $V = Vc$).

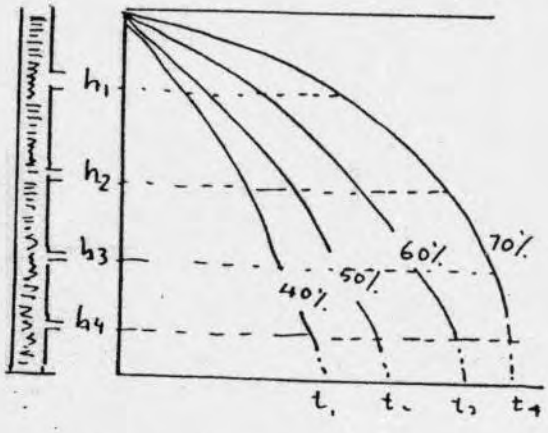
ولی چون سرعت سقوط تمام ذرات یکی نیستند (چون ذرات معلق شناور علاوه بر تفاوت کیفیتی ، دارای شکل ، قطر و اندازه های مختلفی نیز میباشند). در نتیجه برای تعیین سرعت سقوط با استفاده از یک ستون رسوب گیری ، مقداری از فاضلاب را در این ستون ریخته و بعد از زمان معینی درصد مواد شناور رسوب شده و بازده این پروسس را در آن زمان میتوان اندازه گیری کرد.

رسوب نوع دوم (گروه دوم)

این گروه ذراتی هستند که بهنگام سقوط با یکدیگر لخته شده و در نتیجه در طول سقوط قطر ذرات زیاد شده و سرعت افزایش میابد .

رابطه ریاضی مشخصی برای تعیین سرعت سقوط این گروه از ذرات در دست نیست ، برای مشخص کردن مشخصات سقوط این گروه از ستون ته نشینی استفاده میکنند. در زمانهای مختلف از دریچه های مختلف این ستون که در ارتفاعات مختلف نصب شده اند نمونه برداری میشود و در صد S.S ته نشین شده اندازه گیری شده و سپس منحنی مربوطه رسم میگردد. این منحنی نمایشگر ته نشین شدن درصد مواد معلق S.S مشخص شده در زمان های مختلف در آن نقطه از ارتفاع تانک میباشد. مثلاً در شکل بالا، ۴۰ ٪ از SS از سطح h1 برداشت-شده در زمان T و همینطور میتوان زمان لازم را برای برداشت مقدار معینی از مواد معلق پس آب مخصوص با آزمایش فوق تعیین نمود.

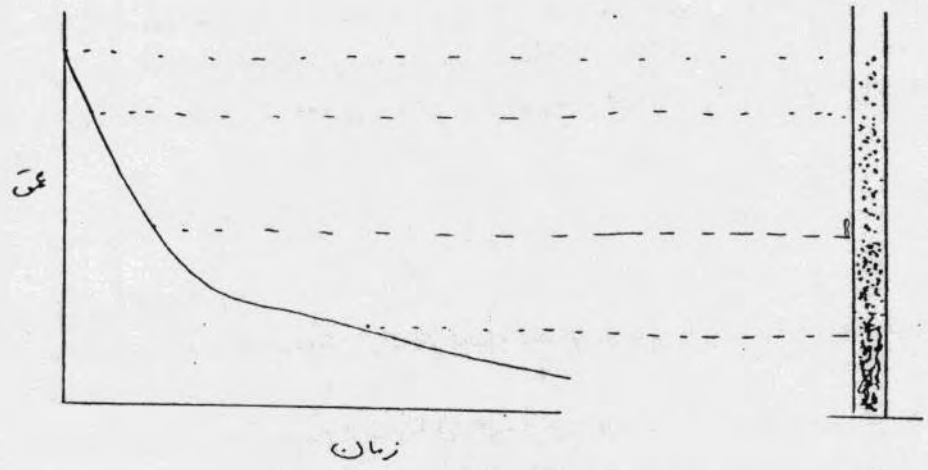




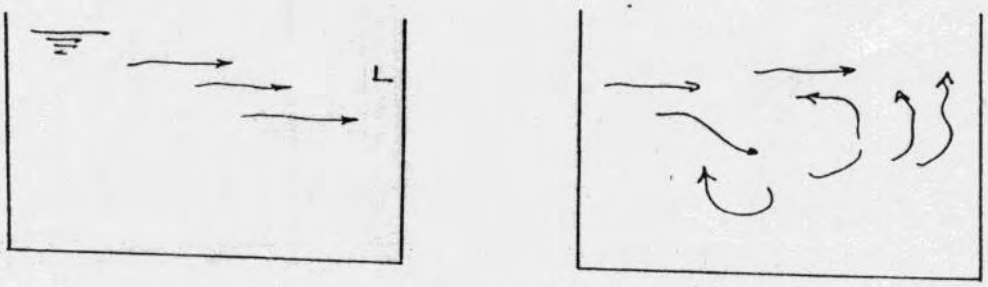
آزمایش ستون ته نشینی برای تعیین سرعت ته نشینی ذرات در مخزن ته نشینی

ته نشینی نوع سوم و چهارم

چون این گروه در بسیاری از مشخصات شبیه هم میباشند در اینجا نیز بطور یکجا مورد بحث قرار میگیرند . برای طرح مخازن در مورد ته نشینی این قبیل ذرات نیز باید با استفاده از آزمایشات معروف به " ستون ته نشینی " (ستونی بقطر ۱۵ سانتی متر و به ارتفاع ۲ متر که در ارتفاعات مختلف دارای شیر برداشت آب میباشد) ، مشخصات ته نشینی مواد معلق در فاضلاب را بدست آورد.



مشخصات ته نشینی ذرات نوع سوم - ناحیه ای



مدل هیدرولیکی ایده آل در مخازن ته نشینی

مدل هیدرولیکی واقعی در مخازن ته نشینی معمولی

مدل های حرکت سیال در مخازن ته نشینی

مخازن ته نشینی

مخازن ته نشینی بصورت استوانه ای شکل و گاهی نیز بصورت مکعب مستطیل ساخته میشوند. نحوه ورود جریان فاضلاب باید بصورت آرام و بکنواخت باشد تا مانع ایجاد جریانهای تند و اتصالی در مخزن نشده و باعث خروج مواد ته نشین شده نگردد.

پارامترهای طراحی در مخازن ته نشینی عبارتند از سرعت جریان سطحی (Overflow Rate) ، زمان توقف در مخزن ته نشینی ، سرعت جریان سرریز و ارتفاع داخلی تانک.

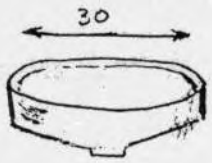
تانک مقدماتی مرحله اول:

معمولاً دارای کف شیبدار جهت جمع آوری لجن میباشد. در تانکهای استوانه ای شکل ارتفاع بین ۲ تا ۴ متر میباشد، قطر بین ۵ تا ۵۰ متر شیب کف ۸٪ و در تانکهای مکعب مستطیل شکل حداقل نسبت طول به عرض ۱ : ۳ و یا ۱ : ۵ میباشد و این رقم تا ۱ : ۱۰ نیز میرسد . ارتفاع مفید آب در مخزن ته نشینی بیشتر از ۲/۵ متر بکار برده نمیشود. معمولاً مخازن مجهز به سیستمی هستند که علاوه بر جمع کردن لجن جمع شده در کف مخزن ، لجن شناور و کف روی سطح آب همراه رسوب جمع شده در کف تانک برداشت شود.

در مخازن ته نشینی مقدماتی شدت جریان سطحی حداکثر بیشتر از ۳۲ متر مکعب در روز در مترمربع نمیباشد.

مثال : ۲ تانک ته نشینی مقدماتی هر یک بقطر ۳۰ متر و ارتفاع مفید ۲ متر در تصفیه خانه ای برای ته نشین سازی مقدماتی فاضلاب بکار برده شده اند. اگر شدت جریان فاضلاب خام به ۲۵ هزار مترمکعب در روز برسد زمان ماند و شدت جریان سطحی را محاسبه کنید :

$Q = 25'000 \quad m^3/day$



$A = \pi d^2/4 = 3.14 \times 30^2/4 = 706.6 m^2$ سطح مخزن

$706 \times 2 = 1413$ سطح کل

$\therefore 25000 \div 1413 = 17.7 \quad m^3/m^2.day$

S.O.R یا شدت جریان سطحی

$1413 \times 2 = 2826$ حجم کل مخزن

$T = V/Q = \frac{2826}{25000} \times 24 = 2.7 \ hr$ زمان ماند = زمان

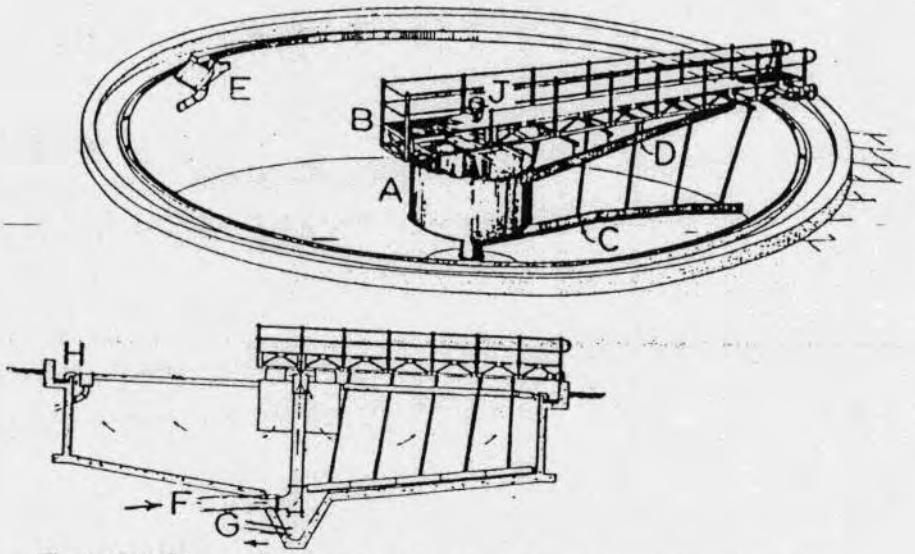
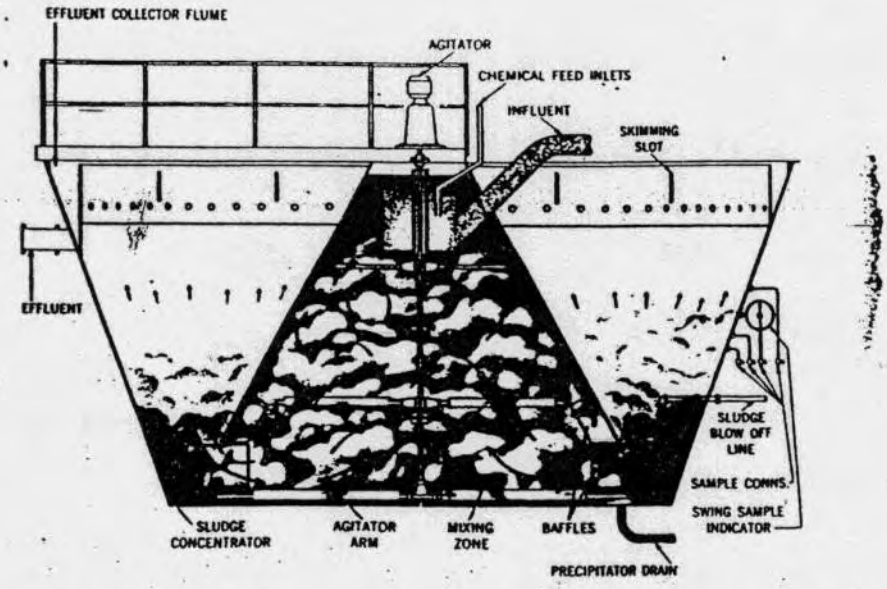


Figure 6.2 Perspective view and true elevation of circular radial flow sedimentation tank. A, inlet baffle; B, access bridge; C, sludge scrapers; D, scum collector bar; E, sludge discharge hopper; F, inlet pipe; G, sludge discharge pipe; H, effluent discharge weir; J, drive motor [Courtesy of Templewood Hawksley Activated Sludge Ltd]

مخزن ته نشینی با
مقطع دایره
(نوع ساده)



مخزن ته نشینی
نوع
"تماسی"
"Sludge Contact"
Blanket

FIG. 9.11 Sludge blanket clarifier providing increasing area for the water rising in the outer annulus, resulting in reducing velocity to match sludge settling rate. *(Courtesy of the Permutit Company.)*

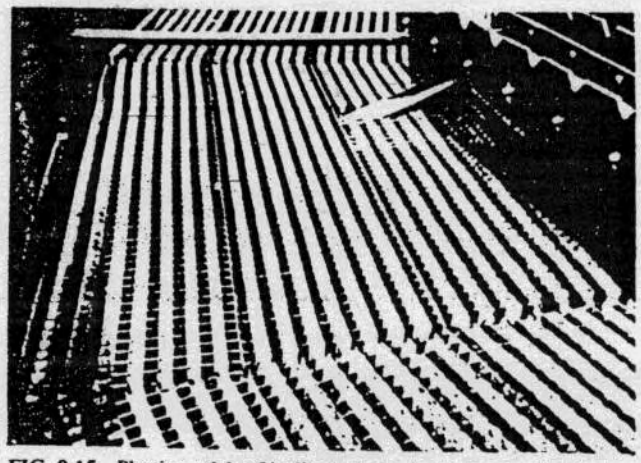
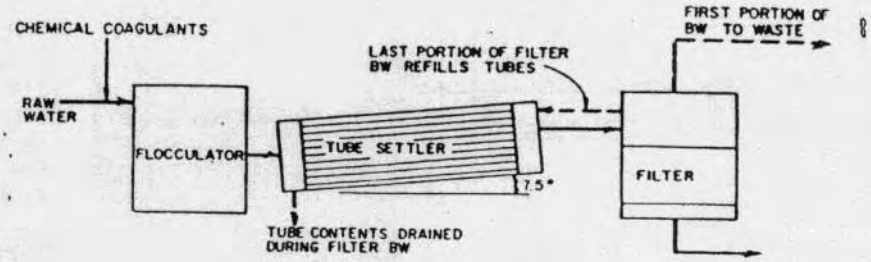


FIG. 9.15 Plastic module of inclined plates simulating inclined tubes. These modules help equalize water distribution. *(Courtesy of Neptune Microfloc, Inc.)*



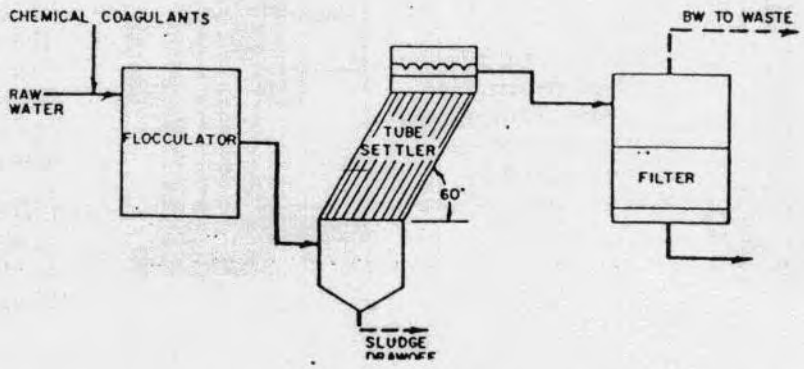
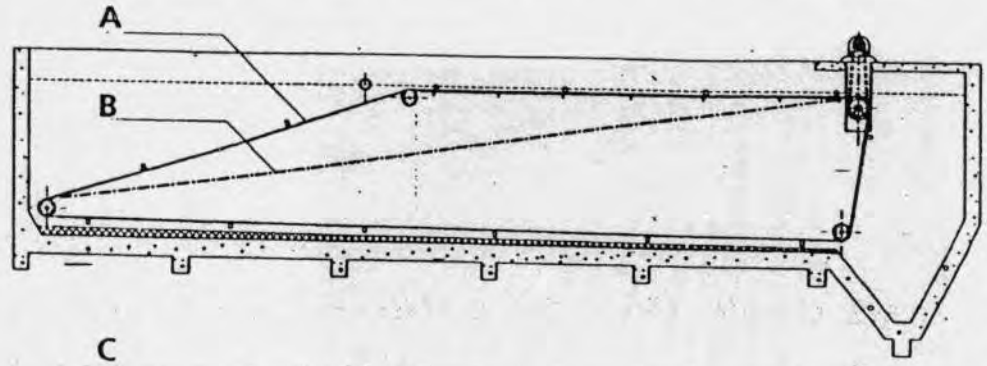


FIG. 9.16 The basic tube-settler configurations used with flocculation and filtration. *(Courtesy of Neptune Microfloc, Inc.)*

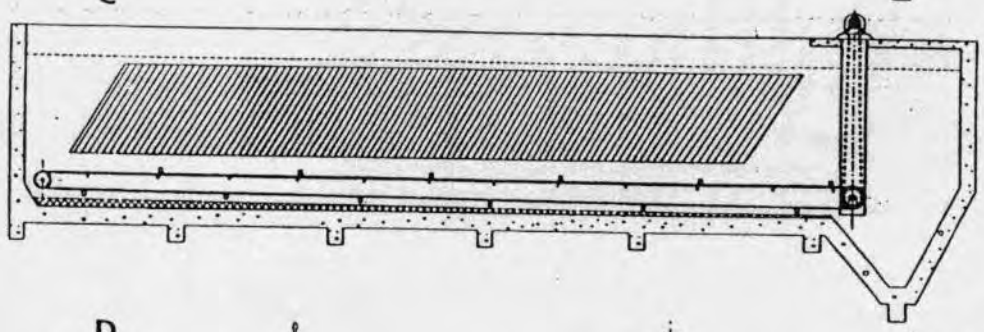
ته نشین کننده های صفحای - "لاملا" یا لولهای

Lamela Separator

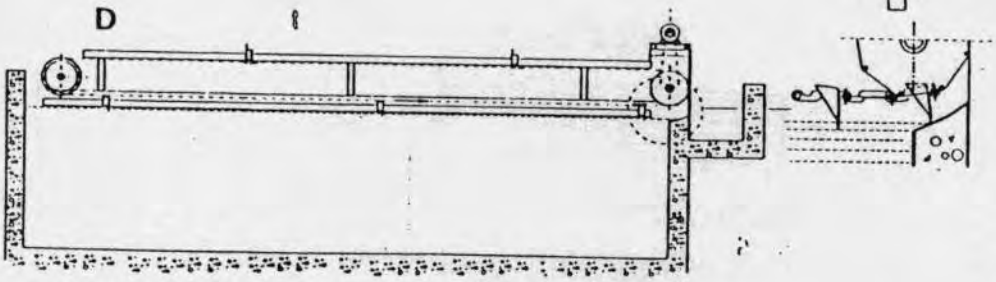
از نوع لولهای با استفاده از لولههای موازی



Type A
is commonly used in both primary and secondary sedimentation tanks for bottom sludge collection to one end of the tank with an integrated scum skimming to the opposite end. The system comprises four sprockets per tank side.

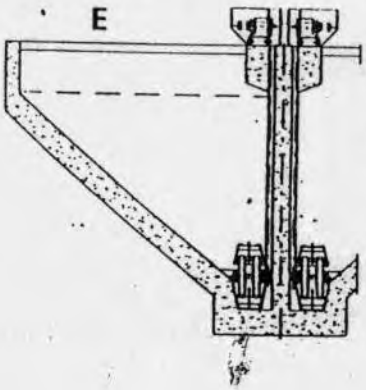


Type B
is preferred for bottom sludge collection as the chains and flights may be easily inspected and serviced at/above water surface. The system comprises three sprockets per tank side.

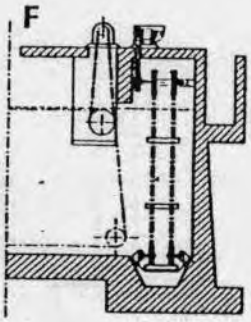


Type C
may be used as bottom scraper in the presence of lamellas, tubes or other obstacles in the tank. In this system the chain runs over two sprocket wheels per tank side.

Type D
is a special type for tanks heeding scum skimming only, e.g. flotation tanks. All flights are furnished with a rubber blade for sweeping the scum over a ramp. As attachment to tank walls is normally not possible, various support structures need to be constructed.



Type E
illustrates a grit scraper in which the standard glass fibre flight and the plastic guide rail materials are replaced by stainless steel.



Type F
is referred as a cross collector for sludge removal from sludge hoppers/channels.

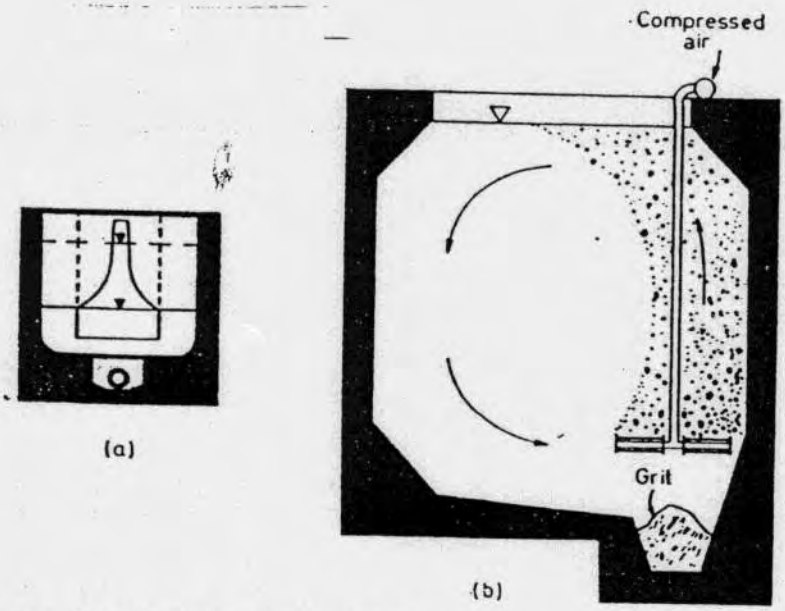
مکانیزم لجن روبی در استخرهای ته شیبی کف مستطیل

مخازن ته نشین سازی مرحله دوم

این مخازن بمنظور ته نشین سازی توده های بیولوژیکی که در مرحله بیولوژیکی (مثل مرحله هوادهی در فرایند لجن فعال و یا بیوفیلترها) رشد نموده اند مورد استفاده قرار میگیرند.
در این مخازن نیز حداکثر شدت جریان ۲۰ الی ۳۰ مترمکعب در روز بر هر متر مربع سطح مخزن و حداکثر ارتفاع مفید مخزن ته نشینی ۲ متر در نظر گرفته میشود. این مخازن از نظر مشخصات عمومی شبیه مخازن ته نشینی مقدماتی هستند. (به شکلهای ضمیمه مراجعه شود.)

مخازن (کانالهای) دانه گیری Grit Removal

برای ته نشین سازی ذرات شن و ماسه که همراه با فاضلاب خام شناور میباشد از مخازن دانه گیری استفاده میشود .
قطر این دانه ها (ذرات) که قابل برداشت باشند در این مرحله به حدود ۰/۲ میلی متر (یا بیشتر) و وزن مخصوص آنها در حدود ۱/۵ الی ۲/۷ میباشد.
بجای استفاده از مخزن چون سرعت سقوط این ذرات زیاد است از " کانال " استفاده میشود . زمان توقف در این کانالها کوتاه است و معمولاً سرعت جریان فاضلاب در این کانال ها را بیشتر از ۰/۳ متر در ثانیه و کمتر از ۰/۶ در ثانیه طرح میکنند تا فقط دانه های سنگین از جمله شن و ماسه برداشت شده و سایر مواد ارگانیک (مواد آلی) در مخزن رسوب گیری مقدماتی برداشت شوند .
بنابراین مخازن دانه گیری معمولاً بصورت کانال شکل و بعضاً نیز بصورت استوانه ای با کف قیفی شکل ساخته میشوند .
در مخازن دانه گیری " چربی گیری " نیز تواماً انجام میگیرد و در این صورت بهتر است با هوادهی فاضلاب علاوه بر کمک به چربی گیری در " دانه گیری " نیز سهولت ایجاد نمود.
در شکل ضمیمه مخازن دانه گیری دیده میشوند.



کانال دانه گیر با هوادهی
(هوا با عث ته نشین شدن سریعتر دانه های سنگین می شود)

Fig. 10.7. (a) *Specially shaped outlet baffle to maintain constant velocity through horizontal grit chambers* (b) *Aerated grit chamber*

جدول طراحی تانک های ته نشینی

نوع ذرات معلق در حالت ته نشینی	وزن مخصوص	قطر Cm	سرعت سقوط در 10 C cm/sec	بار سطحی Q/A m3/m2 day	عمق مخزن
ذرات منعقده با آلوم	1.002	$>10^{-1}$	8.3×10^{-2}	73	1.0
ذرات کربنات کلسیم (بعد از فرایند لایم - سودا)	1.2	10^{-2}	2×10^{-2}	36	2.0
ته نشینی مقدماتی فاضلاب	>1.001	10^{-1}	4.2×10^{-2}	36	2.0
ذرات توده های لجن فعال	1.005	10^{-1}	2×10^{-1}	50	1.5
خاک (سیلیس)	2.65	$.10^{-3}$	6.9×10^{-3}	6	12

Ref :Elements of Water Supply and Wastewater Disposal ; Fair & Geyer & Okun

انعقاد و لخته سازی

در بسیاری از فاضلابهای صنعتی ذرات شناور بسادگی ته نشین و یا شناور نمیشوند. این ذرات بدلیل آنکه یکدیگر را دفع میکنند و یا دارای قطر بسیار کمی هستند با سرعت کم ته نشین میشوند (مثل ذرات کلوئیدی) و براحتی از آب جدا نمیشوند.

با استفاده از مواد شیمیائی خاص ، تحت فعل و انفعالات شیمی - فیزیکی این ذرات بی بار شده و یکدیگر را جذب نموده و تشکیل تجمع و توده ذرات را داده باین ترتیب ذرات درشت تری را تشکیل میدهند و این ذرات بعلت وزن خود ته نشین میگردند. بی بار کردن ذرات شناور را کواگولاسیون Coagulation و در هم رفتن مواد بی بار و بوجود آوردن ذرات درشت تر را فلوکولاسیون Floculation مینامند. مجموعه این فعل و انفعالات را لخته سازی و انعقاد سازی میگویند که در بسیاری از مواد استفاده میشود از جمله :

۱: برای زلال سازی آب رودخانه ها - لخته سازی باعث ته نشین شدن ذرات کلوئیدی آب میگردد در حالیکه در حالت عادی زمان بسیار طولانی برای ته نشین شدن این ذرات لازم خواهد بود.

۲: برای زلال سازی فاضلاب تصفیه شده که از مرحله دوم تصفیه یعنی تصفیه بیولوژیکی گذشته است در این جا بکمک لخته سازی لجن ته نشین نشده را رسوب مینمایند و در نتیجه فاضلاب تصفیه شده شفاف و زلال میگردد.

۳: برای تصفیه فاضلابهائی که دارای رنگ های شیمیائی میباشند از قبیل فاضلاب کارخانه کاغذ سازی که سیاه رنگ میباشد و با لخته سازی مواد رنگی خود را از دست میدهد(یا پساب صنایع نساجی).

۴: برای برداشت فسفاتها از فاضلاب، چون فسفردر مرحله تصفیه بیولوژیکی فقط بمیزان بسیار کمی بوسیله لجن از فاضلاب گرفته میشود در صورتیکه ایجاد اشکال نماید باید بکمک لخته سازی برداشت گردد.

۵: برای تغلیظ لجن - بکمک لخته سازی لجن متراکم دارای غلظت بیشری شده و سنگین تر میگردد در نتیجه با هزینه کمتری دفع میگردد.

۶: برای شناور سازی مواد روغنی و تصفیه آنها از فاضلاب

مواد منعقد کننده : موادی هستند که بکمک آنها عمل لخته سازی صورت میگیرد، مهمترین این عبارتند از :

۱: آب آهک یا Lime یا Ca (OH)2

۲: آلوم یا سولفات آلومینیوم Al2(SO4)3

۳: کلرورفریک Fecl3 (از سولفات فریک نیز استفاده میشود)

۴: املاح فرو (FeCl2 , FeSo4)

۵: پلی الکترولیتها که مواد آلی سنتتیک (مصنوعی) و پلیمری هستند که در آب حل شده و لذا به آنها پلی الکترولیت گفته میشود . انواع پلی اکریل آمید برای این منظور بکاربرده میشود.

این مواد در زلال سازی و ته نشینی ذرات کلوئیدی شناور در آب و یا فاضلاب ، بخصوص فاضلاب صنعتی در اغلب اوقات بسیار بهتر از مواد منعقد کننده معدنی (مثل آلوم (سولفات آلومینیوم) و یا کلرور فریک) عمل می نمایند.

مقدار مصرف مواد فوق در شرایط مختلف متفاوت است ولی بطور کلی میزان آب آهک در حدود 300 ppm -10 و بسیاری از پلی الکترولیت ها را در حدود 5-1 ppm بکار میبرند. برای تعیین میزان لازم از آزمایش بنام Jar test استفاده میشود.

طرز استفاده از مواد منعقد کننده و لخته ساز (کوا گولانت) به این ترتیب است که مواد منعقد کننده را بصورت محلول به فاضلاب (یا آب خام تصفیه نشده) اضافه نموده و بشدت برای 2-1 دقیقه مخلوط مینمایند. سپس برای 15 دقیقه سرعت مخلوط کردن بسیار آهسته میشود تا لخته ها تشکیل گردند. پس از این مدت آب (فاضلاب) حاوی لخته ها وارد استخرهای ته نشینی میگردد تا ذرات معلق لخته شده را بصورت رسوب از دست داده شفاف و زلال شود.

عوامل موثر در کواگولاسیون : عبارتند از :

pH : pH اثر زیادی در تشکیل لخته ها دارد ، به این جهت آزمایش Jartest را در pH های متفاوت انجام میدهند تا اثر آن مشخص شود.

درجه حرارت : عمل انعقاد بستگی به درجه حرارت نیز دارد و بطور کلی مقدار ماده مصرف شده در زمستان و تابستان متفاوت میباشد. البته درجه حرارت به اندازه pH موثر نمیباشد.

سرعت اختلاط : هرچه که اختلاط مواد کواگولانت (منعقد کننده) با آب کاملتر باشد، عمل لخته سازی بهتر انجام میگیرد.

اصولاً تمام عواملی که در بی بارکردن ذرات و سنگین شدن آنها و همچنین در افزایش سرعت ته نشینی اثر دارند در لخته سازی موثر میباشند.

از این فرایند در ته نشینی و همچنین در شناور سازی و در تغلیظ لجن استفاده فراوانی میشود. پسابهای صنعتی مثل چرمسازی، نساجی بعضاً تا ۶۰٪ بار آلی خود را در اثر انعقاد و لخته سازی و رسوب سازی از دست میدهند.

تصفیه مرحله دوم - تصفیه بیولوژیکی

تجزیه مواد آلی بکمک میکروارگانیزمها انجام میگیرد و این تجزیه که در حقیقت اکسیداسیون مواد آلی میباشد از نقطه نظر مکانیزم واکنش دارای کینتیک مشخصی میتواند باشد. با استفاده از کینتیک رشد میکربی میتوان از رابطه مونود استفاده نمود و روابط سرعت واکنش تجزیه را نوشت ، ولی در ساده ترین فرم کینتیک واکنش تجزیه مواد آلی را از نوع واکنش درجه اول ($r_A = k C_A$) فرض میشود :

$$dL/dt = -k_1 . L$$

L= مقدار بی اودی باقیمانده

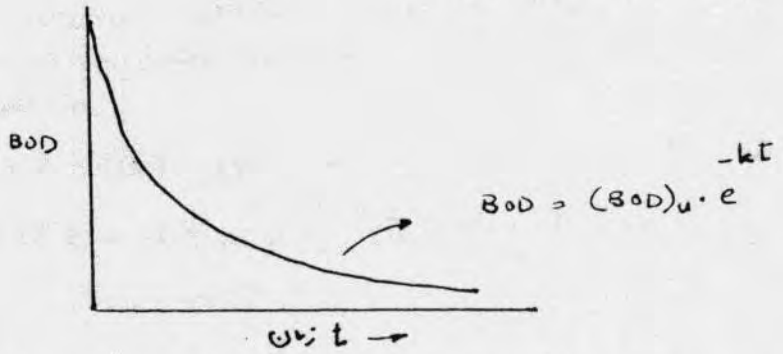
t = زمان

K_1 = ضریب ثابت واکنش درجه اول

$L = Lo . e^{-k1.t}$

Lo = میزان کل بی اودی در زمان صفر

$= (BOD)_u$



تجزیه مواد آلی تقریباً در تمام شرایط اتفاق می افتد، در آزمایش مخصوص اندازه گیری BOD ، در رودخانه ، و یا در واحدهای تصفیه بیولوژیکی ، تفاوت مهم در مقدار k میباشد.

در آزمایش BOD که رابطه $L = Lo\, e^{-kt}$ برقرار میباشد $k = 0.23\ d^{-1}$ میباشد در حالیکه این واکنش در یک فیلتر بیولوژیکی طوری اتفاق می افتد که $k = 48.5\ d^{-1}$ میگردد یعنی این واکنش با سرعتی خیلی بیشتر انجام میگیرد.

k بستگی به درجه حرارت محیط دارد و در 20C دارای ارزش استانداردی میباشد:

$k = k_{20} . \theta^{T-20}$, $\theta = 1.024 \sim 1.038$

راکتورهای بیولوژیکی

اصولاً سیستمهای میکرو بیولوژیکی را به دو گروه متفاوت تقسیم میکنند :

۱: سیستمهائی که در آنها میکروارگانیزم ها به سطحی که در مجاورت اکسیژن (هوا) و مواد غذائی (پساب) میباشد چسبیده و به این سیستم " رشد چسبیده " یا Fixed film یا " سیستم بیوفیلمی " میگویند نمونه بارز آن فیلتر بیولوژیکی و بیوراکتورهای چرخان میباشد.

۲: سیستمهائی که در آنها میکروارگانیزم ها بصورت شناور در محیط مایع که حاوی مواد غذائی نیز میباشد (فاضلاب) شناور و معلق نگه داشته شده و هوا بصورت حل شده در این محیط بمصرف میکروارگانیزم میرسد. نمونه مشخص این سیستم ، سیستم های هوادهی و لجن فعال شده ، لاگونهای هوازی و .. میباشد.

از نظر مصرف اکسیژن نیز سیستمهای بیولوژیکی را به گروه های مختلف تقسیم میکنند:

سیستمهای هوازی یا Aerobic

در این فرایندها میکروارگانیزم به اکسیژن محلول DO نیازمند است و در نتیجه اکسیژن (هوا) بطور مداوم باید در محیط (فاضلاب) وارد گردد. عمل اکسیژن دهی یا از طریق سیستمهای مکانیکی انجام میگیرد - مثل هواده های سطحی و یا کمپرسورهای تامین کننده هوای فشرده- و یا از طریق ثقلی و با عبور فاضلاب از روی بستری از میکروارگانیزم .
گفته میشود واکنش تجزیه مواد آلی فاضلاب در شرایط هوازی را میتوان بصورت زیر نوشت ، و از این طریق میزان اکسیژن مصرفی برای تجزیه هر کیلوگرم مواد آلی را محاسبه نمود:

$$\text{ماده آلی (فاضلاب)} + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + NH_3$$

$$C_{18}H_{19}O_9N + 17.5\,O_2 \longrightarrow 18\,CO_2 + 8\,H_2O + NH_3$$

سیستمهای غیر هوازی یا Anaerobic

در فرایندهای غیر هوازی میکروارگانیزمها اکسیژن مورد نیاز خود را از سایر منابع از جمله مواد شیمیائی اکسیژن دار تامین میکنند و لذا نیازی به اکسیژن محلول ندارند.
در این واکنشها نتیجه و محصول واکنش معمولا گازی بنام " بیو گاز " است که بیش از ۶۰ ٪ متان دارد.
رابطه شیمیائی واکنشهای غیر هوازی برای تجزیه فاضلا ب را بشکل زیر میتوان نوشت.

$$\text{ماده آلی (فاضلاب)} \longrightarrow CO_2 + CH_4 \quad (Biogas)$$

سیستمهای فاکولتاتیو یا اختیاری Facultative

برخی از میکروارگانیزمها در هر دو حالت هوازی و یا غیر هوازی برشد و زندگی خود ادامه میدهند. در شرایط هوازی ، تنفس و متابولیسم این میکروارگانیزمها بصورت هوازی و در شرایط غیر هوازی شرایط و حالت خود را تغییر داده و کاملا " غیر هوازی عمل میکنند.
این گروه از میکرو ارگانیزمها معمولا " شرایطی را بر شرایط دیگر ترجیح میدهند مثلا " ترجیحا هوازی و یا ترجیحا" غیر هوازی میباشند.
سیستمهای تصفیه لاگونی (برکه های تثبیت) از میکروارگانیزمهای فاکولتاتیو استفاده میکنند.

فیلتر بیولوژیکی یا صافی چکنده BIOLOGICAL FILTER

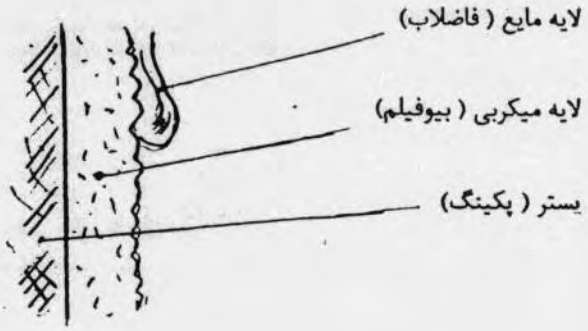
یکی از مواردی که تحولی در تصفیه فاضلابها محسوب میگردد هنگامی بدست آمد که بر اثر عبور آب آلوده از یک بستر شنی مقدار زیادی از آلودگی آب کاسته شد و این کاهش بعلت رشد میکروارگانیزمهائی که روی سطح شن رشد نموده بودند نسبت داده شد . بعدها از این اصل استفاده نموده و بیوفیلتر ها یا فیلتر های بیولوژیکی در صنعت تصفیه فاضلاب بکار برده شدند و در حقیقت " بیو فیلترهای چکنده " اولین سیستم تصفیه بیولوژیکی محسوب میشوند.

باید توجه نمود که به این سیستم اشتباها" فیلتر بیولوژیکی گفته میشود در حالیکه فیلتر بمعنی صافی بوده که صاف کردن عملی است فیزیکی در حالیکه در این مورد عمل تصفیه عملیست بیولوژیکی و موجودات زنده نقش تصفیه کردن را دارند در نتیجه شاید کلمه فیلتر زیاد مناسب نباشد ولی در هر حال بسیار متداول است . علاوه بر فیلتر بیولوژیکی ، به این سیستم پرکولیتینگ فیلتر Percolating Filter (فیلتری که در آن مایع از روی بسترمتخلخلی حرکت میکند) و تریکلینگ فیلتر (صافی چکنده) نیز گفته میشود و اخیرا" چون از ستونهای بلندی برای این کار استفاده میشود ستون بیولوژیکی Biological Tower نیز عبارت متداولی شده است .

فیلتر بیولوژیکی شباهت زیادی به ستونهای پکینگ دارد که در بسیاری از پروسس های صنایع پتروشمی استفاده میشود. فاضلابی که روی محیط (بستر) فیلتر پخش میشود به آهستگی بطرف پائین سرازیر شده و در کف فیلتر جمع و بسوی تانک رسوب گیری روانه میشود . میکروارگانیزمها روی سطح بستر (محیط) پراکنده شده با استفاده از هوائی که در فیلتر جریان پیدا میکند (بطور طبیعی) و با تغذیه از مواد آلی فاضلاب رشد نموده و تکثیر شده و باعث بوجود آمدن یک قشر بیولوژیکی روی سطح محیط میشوند . استفاده میکروارگانیزمها از مواد آلی محلول باعث پالایش فاضلاب میگردد.

این قشر میکروبیولوژیکی (Slime) از موجودات زنده مختلف تشکیل شده است مهمترین آنها عبارتند از : باکتریها - قارچ ها - کرم ها و نرمتنان مختلف و با استفاده از نور خورشید خزه ها و جلبک ها نیز رشد میکنند.

حرکت فاضلاب ثقلی و بطرف پائین فیلتر میباشد که در طول این مسیر، اکسیژن هوا به لایه مایع (فاضلاب) که در مجاورت قشر میکروبیولوژیکی است نفوذ می نماید و مایع اکسیژن محلول را بداخل لایه میکربی منتقل میسازد. همینطور مواد آلی موجود در مایع نیز بقشر بیولوژیکی نفوذ کرده و مواد مصرفی به لایه فاضلاب برگشت داده میشود.



در نتیجه میکروارگانیزمها از مواد آلی محلول در فاضلاب استفاده نموده باعث کاهش BOD (آلودگی) در فاضلاب میشوند و برشد خود ادامه میدهند. ولی در لایه های زیری قشر بیولوژیکی ، میکروبهائی که بسطح محیط (پکینگ) نزدیک اند بعلت نرسیدن مواد غذائی و اکسیژن ابتدا غیرهوازی شده و سپس از بین میروند در نتیجه هر چند یکبار قشر بیولوژیکی از سطح محیط جدا شده و بوسیله پساب خروجی به تانک رسوب سازی وارد و سپس ته نشین میشود.

اگر آلودگی موجود در آب زیاد باشد (بار آلی وارده بر فیلتر) رشد میکروارگانیزمها بحدی میرسد که احتمالاً منافذ فیلتر را مسدود نموده و مانع عبور پساب بطرف پائین و یا جریان هوا میشوند. به این حالت که اصطلاحاً Ponding(حوضچه سازی) میگویند ، فیلتر بصورت ناقص و در بعضی از نقاط بطور غیرهوازی عمل میکند که با بوی بد و تند همراه است و در نتیجه تصفیه بیولوژیکی نادرست انجام گرفته و بازده خیلی کمی پیدا میکند.

فیلتر بیولوژیکی معمولی حدود ۲ متر ارتفاع و بین ۵ تا ۵۰ متر قطر و اغلب استوانه ای شکل میباشد. مایع (فاضلاب) در مرکز فیلتر وارد شده و بوسیله چهار (گاهی ۲) بازو در سطح فیلتر پخش میشود. بازوها بوسیله نیروی عکس العمل جهش آب در گردش میباشند ولی از موتورهای الکتریکی برای گردش بازوها نیز استفاده میشود و پریود این گردش حدود ۱ دور در ۷-۵ دقیقه میباشد. کف فیلتر حدود ۳۰ تا ۵۰ سانتی متر از آخرین سطح محیط ارتفاع دارد و بنحوی ساخته میشود که هوا براحتی نفوذ و بتواند جریان داشته باشد.

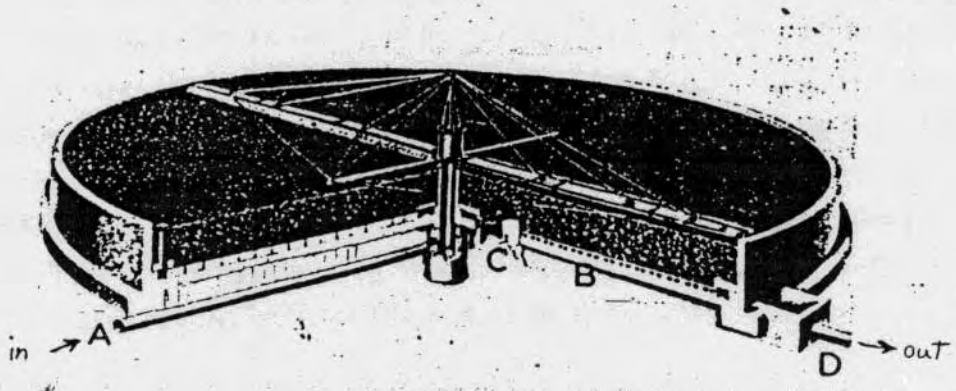
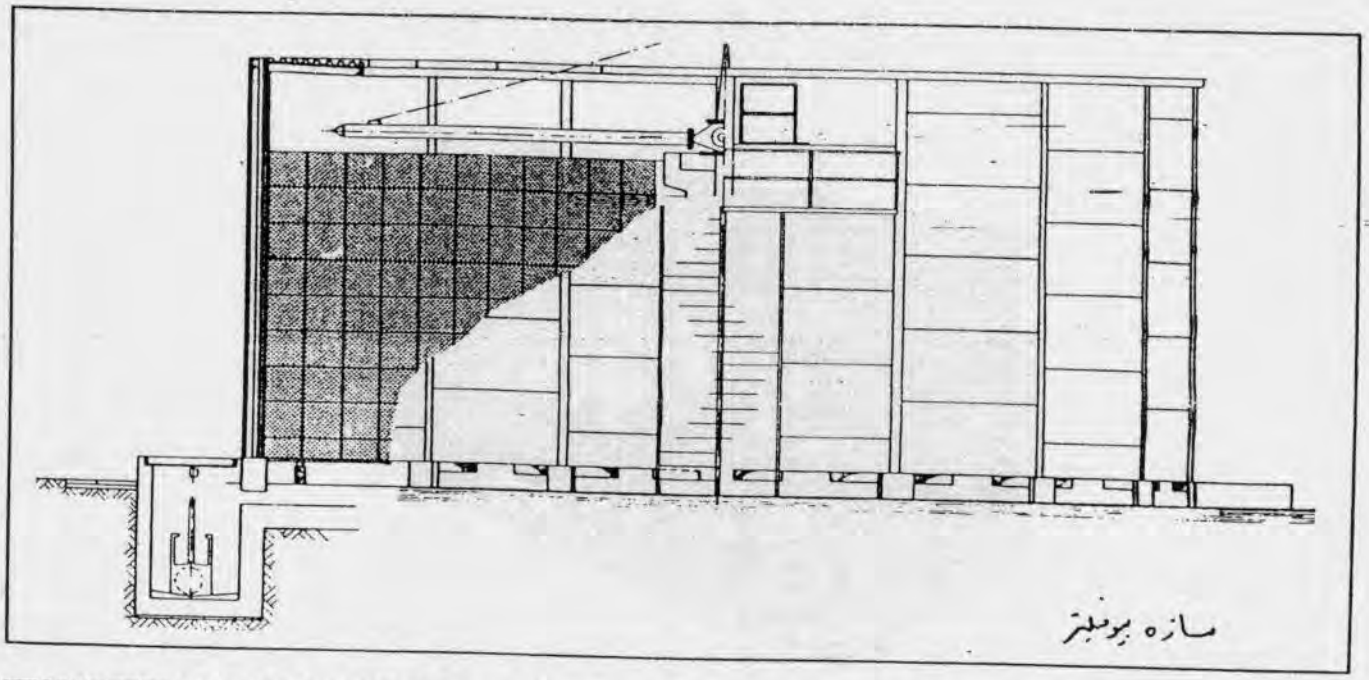
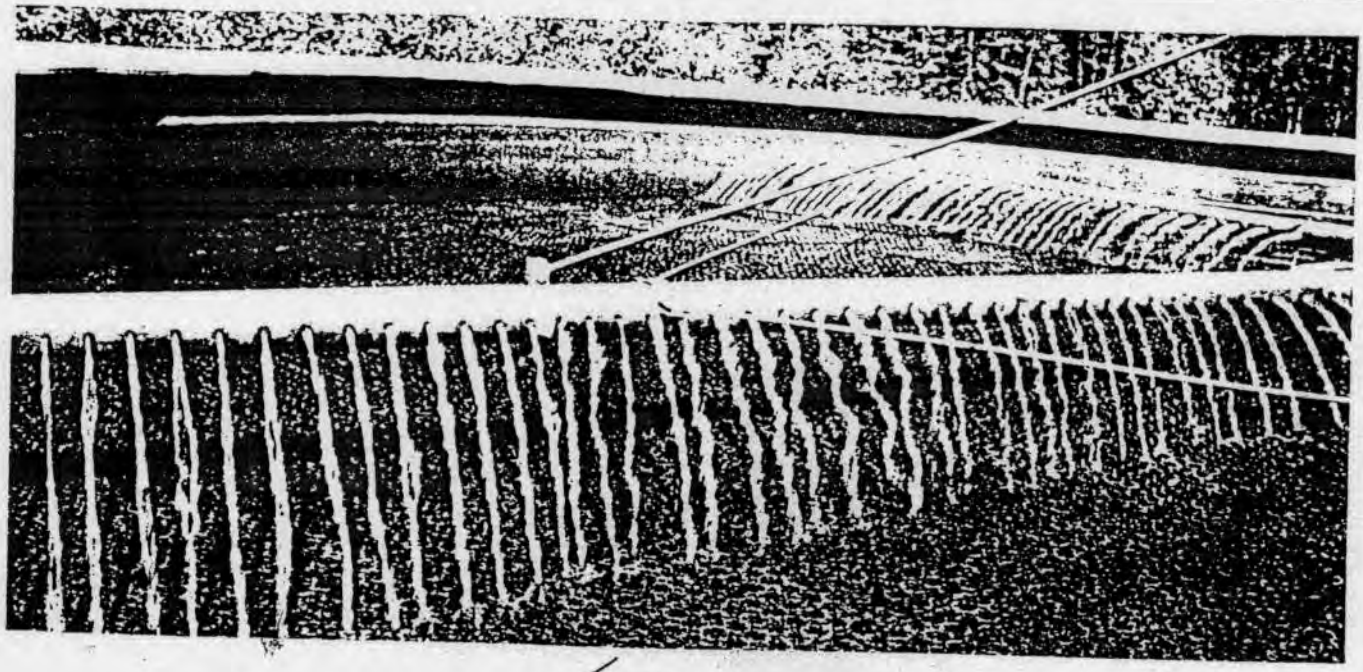


Figure 6.3 Sectional perspective view of a circular trickling filter showing rotating distributors and filter media. A, inlet pipe; B, underdrain blocks; C, effluent channel; D, outlet pipe [Courtesy of Dorr-Oliver Co. Ltd]

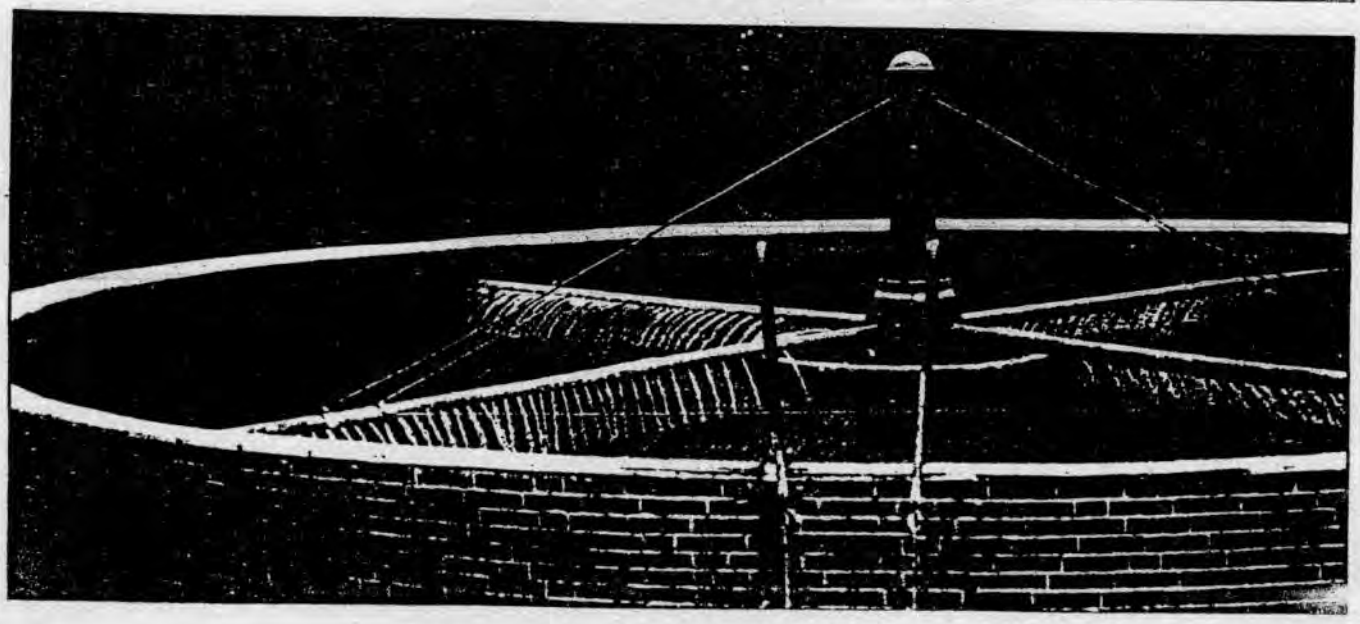
برشی از یک فیلتر چکنده با مترسنگی

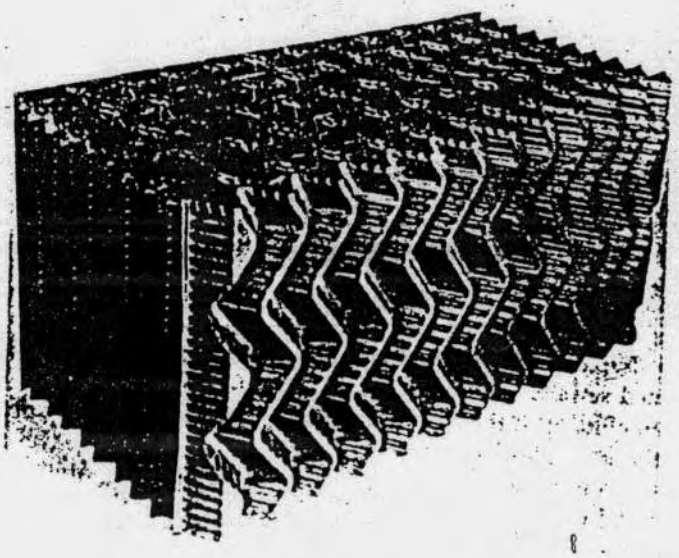


مسازه بومفیلتر



نمای آب روی بومفیلترها - فیلتر مصنوعی (پلاستیکی)





نوعی از پکینگ بکار برده شده در بیوفیلترهای "برجی" یا برجهای بیولوژیکی

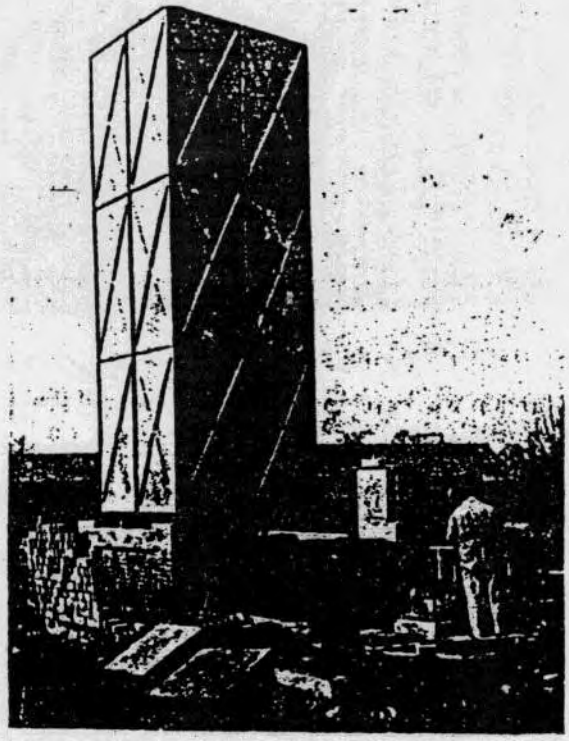
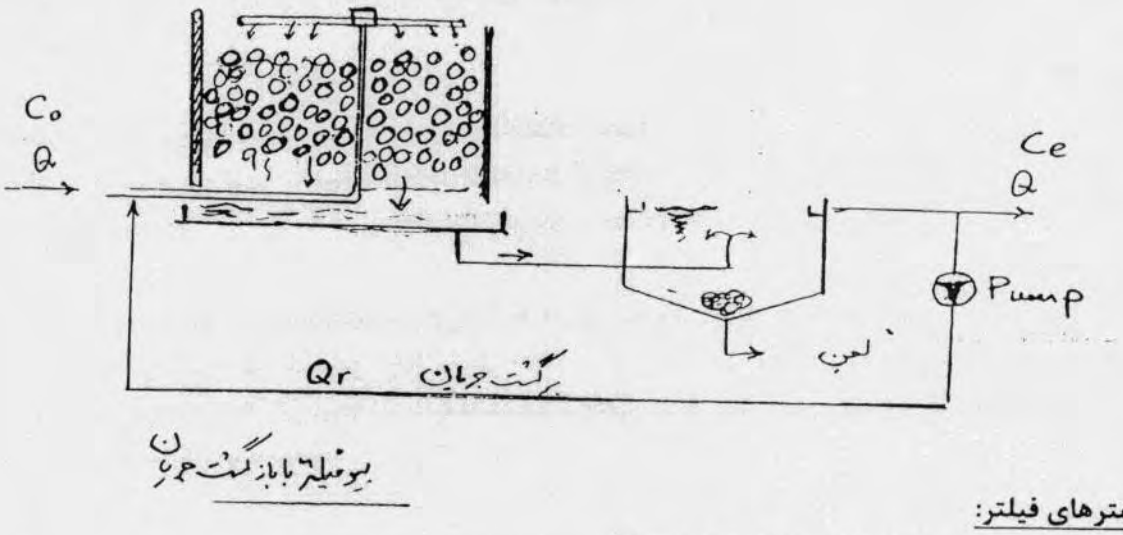


Figure 10.2 Biofiltration tower treating dairy wastes
[Courtesy of ICI Pollution Control Systems]

برج بیولوژیکی

محیط فیلتر معمولاً قلوه سنگ و سنگهائی که دارای منافذ زیاد باشند میباشد (مثل سنگهای آتش فشانی و یا کلینکر کوره های سیمان)) . این سنگ ها حدود ۷- ۵ سانتی متر قطر دارند و بعلت اینکه این سیستم تصفیه اصولاً بر مبنای اصل سطح تماس جامد با مایع قرار گرفته هر چه سطح تماس مایع و میکروارگانیزمها بیشتر باشد بازدهی بیشتر خواهد بود .
در نتیجه باید حداقل از سنگ های با قطر کمتر استفاده نمود و لی بعلت احتمال گرفتگی منافذ و راه عبور آب که در اثر رشد میکروارگانیزمها ایجاد میشود معمولاً از سنگ هائی بقطر ۷-۵ سانتی متر استفاده میکنند که باعث بروز مشکلاتی از آن قبیل نشود. در سالهای استفده از پکینگهای پلاستیکی که دارای نسبت سطح به حجم زیاد میباشند نیز بسیار متداول گشته و در فیلترهای بیولوژیکی جایگزین سنگهای سنتی شده اند.



بیوفیلتر با بازگشت جریان

پارامترهای فیلتر:

عوامل مهم در طراحی و محاسبات بیوفیلتر ها عبارتند از :

بار آلی : بار آلی وارد بر سطح یا حجم فیلتر است که با ازاء مقدار BOD بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب حجم محیط یا کیلوگرم باد به ازاء مترمربع سطح فیلتر در روز تعریف میشود.

$$\text{بار وارده Organic Load} = \text{kg BOD / day .m}^3$$
$$= \text{kg BOD/ day . m}^2$$

بار هیدرولیکی یا شدت جریان بر حسب مترمکعب جریان حجمی فاضلاب برمترمربع در روز میباشد

$$\text{Hydraulic Load} = Q/A = m^3/m^2\ day$$

بعضاً نیز بار هیدرولیکی فیلتر برحسب جریان حجمی فاضلاب بر متر مکعب حجم فیلتر در روز بیان میشود.

$$\text{Hydraulic Loading} = Q/V = m^3/m^3 . day$$

در فیلتر هائی که دارای جریان برگشتی میباشند ، بار هیدرولیکی با توجه بمیزان جریان برگشتی محاسبه میشود ولی بار آلی بدون در نظر گرفتن جریان برگشتی محاسبه میگردد.

جریان برگشتی : در فیلتر های " پر بار" بخشی از جریان خروجی به فیلتر برگشت داده میشود تا بازدهی سیستم تصفیه افزایش یابد . به این جریان ، جریان بازگشتی گفته میشود و معمولاً بصورت Q_r نشان داده میشود.
نسبت جریان باز گشتی به جریان خروجی از فیلتر را نیز با حرف _ R نشان میدهند.

$$R = Q_r / Q$$

انواع بیوفیلترها

در حالیکه فیلتر های ساده معمولی در انگلستان بکار برده میشدند ، فیلترهای دیگری با بار هیدرولیکی و بار آلی بسیار بیشتر در امریکا مورد استفاده قرار گرفتند و بعدها نیز برجهای بیولوژیکی که از پکینگ پلاستیکی استفاده مینمودند در صنعت تصفیه فاضلاب مطرح گردیدند و لذا بیوفیلتر ها را به گروه های زیر تقسیم میکنند.
(در حقیقت نحوه استفاده از فیلتر و میزان بار ورودی این تقسیم بندی را ایجاد میکندو از سایر جهات فیلترها میتوانند بسیار مشابه هم باشند).

۱- فیلتر با شدت جریان ضعیف - کم بار (Low - Rate Filteration)
۲- فیلتر با شدت جریان قوی - پربار (High - Rate Filteration) - از جمله برجهای بیولوژیکی
۳- فیلتر دو مرحله ای (Two - Stage Filteration) - ازجمله فیلترهای ADF

جدول زیر مقایسه پارامترهای مورد استفاده در این فیلترها را نشان میدهد و اعداد و ارقام قید شده مربوط به سیستم های عادی است. محدوده اعداد قید شده تابع شرایط محیطی (از جمله نوع فاضلاب ، دمای محیط و..) است. برجهای بیولوژیکی در این جدول قید نشده و اصولاً این برجها در تصفیه فاضلابهای شهری متداول نیستند و بیشتر برای فاضلابهای صنعتی که غلظت زیادی دارند بکار برده میشوند.

مقایسه عملکرد فیلترها

فاکتور	شدت جریان ضعیف	شدت جریان قوی	دو مرحله ای
بار هیدرولیکی m3/m2 .d	1-4	8-30	8-30
بار آلی kg BOD/m2.d	0.08-0.4	0.4-1.5	0.7-2.5
عمق فیلتر - D,m	1.5-2.5	0.5-2.5	0.5-2.1
نسبت بازگشت R,%	0	0.5-3.0	0.5-4.0
بوجود آمدن مگس و حشرات	خیلی زیاد	خیلی کم	خیلی کم
بهره برداری (اپراسیون)	بسیار ساده	مشکل - تخصصی	مشکل - تخصصی
پریود گردش بازوها	یک دور در ۷-۵ در دقیقه	مداوم - یک دور در ۲- ۱ دقیقه	مداوم

فیلتر با شدت جریان ضعیف Low - Rate

همانگونه که در جدول بالا آمده است این فیلترها تحت بار هیدرولیکی و آلی کم بکار برده میشوند و در صورتیکه در شرایط خوبی نگهداری شوند ، در تصفیه فاضلابهای شهری ، بازده حذف بی او دی به بیش از ۹۰ در صد و کاهش ذرات معلق و شناور نیز به بیش از ۹۰ در صد میرسد .

معمولاً در این فیلترها فاضلاب خروجی بازگشت داده نمیشود و اصولاً حرکت بازوها بدون استفاده از انرژی برقی صورت میگیرد بطوریکه تنها انرژی عکس العمل جهش آب باعث حرکت بازوهای پخش فاضلاب میگردد . در نتیجه در مواقعی که شدت جریان بسیار کم است ، قدرت جهش فاضلاب بهنگام پخش روی سطح فیلتر ممکن است بمیزانی نباشد که بازوها را بگردش در آورد. در این قبیل مواقع از سیستم سیفونی استفاده میشود تا جریان فاضلاب در مخزنی نگهداشته شود و وقتی که حجم آن بمیزان معینی رسید مکانیزم سیفونی باعث جریان یافتن فاضلاب بداخل بازوهای پخش و جهش فاضلاب از منافذ شده که خود باعث به حرکت در آمدن بازوها میگردد و در نتیجه فاضلاب بخوبی روی سطح فیلتر پخش میشود .

در فیلتر های کم بار (شدت جریان و بار کم) معمولی از بستر های سنگی استفاده میشود . در این فیلترها علاوه بر کاهش بار آلی برحسب بی او دی ، مقدار قابل ملاحظه ای از مواد ازته آلی نیز کاملاً اکسید شده و از بین میروند. غلظت فاضلاب معمولاً نباید از حدود 400 mg/l تجاوز کند و اگر بیشتر از این باشد امکان مسدود شدن فیلتر بوجود می آید(که با بوی تند و نامطبوع همراه است) . تکثیر حشرات (مگس و پشه) زیاد روی سطح فیلتر یکی از نکات منفی این فیلتر میباشد که باید با نصب توری روی سطح فیلتر کنترل شود.

فیلترهای کم بار در هوای گرم خیلی بهتر و با بازده بیشتر عمل میکنند.

فیلترهای پربار High - Rate

کاهش مواد آلی و مواد معلق در این نوع فیلتر در مقایسه با فیلترهای کم بار خیلی کمتر و معمولاً در حدود ۸۰ - ۶۰ ٪ است که بمراتب کمتر از حد مورد نظر برای رسانیدن کیفیت فاضلاب تصفیه شده به استانداردهای قابل قبول است.

برای جبران این عملکرد ضعیف از باز گشت جریان استفاده میشود و گاهی نیز دو یا چند فیلتر بطور سری پشت سرهم قرار میگیرند تا در نتیجه فاضلاب خروجی بحد بی اودی قابل قبول برسد در نتیجه بازده کلی این فیلترها (بصورت دو مرحله ای همراه با برگشت جریان) برای حذف بی اودی فاضلاب میتواند بیشتر از فیلتر های کم بار با شدت جریان ضعیف باشد . معمولاً شدت جریان بحدی است که فیلتر هیچوقت مسدود نمیشود مگس و سایر حشرات نیز کمتر در فیلترهای پربار رشد میکنند چون شدت جریان زیاد فاضلاب تخم این موجودات را با خود شسته و از فیلتر خارج میکند.

برجهای بیولوژیکی - Biological Towers

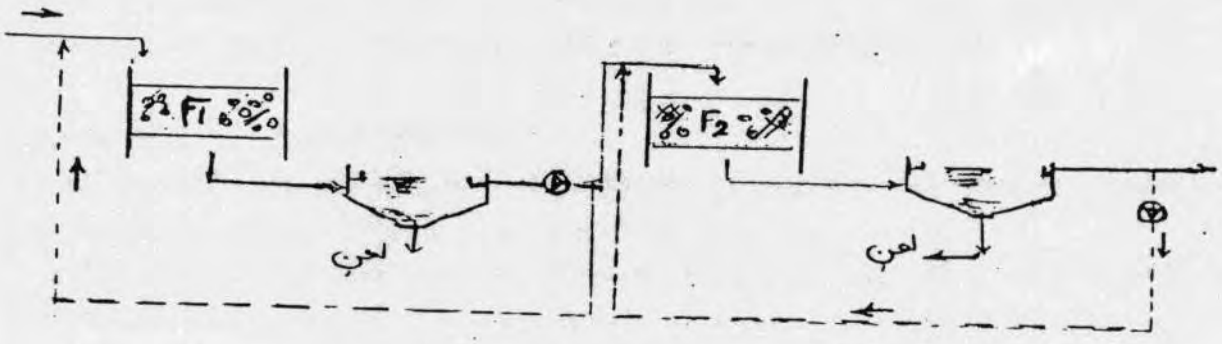
در فیلترهای عادی اغلب از محیط سنگی استفاد میشود و سنگ علاوه بر سنگینی دارای نسبت سطح به حجم کمی میباشد در نتیجه این فیلترها اغلب به ارتفاع ۲ متری ساخته و مورد استفاده قرار میگیرند.

در سالهای اخیر پکینگهائی ، معمولاً از جنس پلاستیک ، با نامهای تجارتی مثل Flocor E & IR -, BioPack و ... ساخته و ببازار عرضه شده اند که بسیار سبک وزن و دارای نسبت سطح به حجم قابل ملاحظه ای میباشند، در نتیجه

فیلترهائی با استفاده از این قبیل محیطها ساخته شده اند که ارتفاع خیلی بیشتری داشته و قابلیت تصفیه بسیار بیشتری دارا میباشند و بعلت ارتفاع زیاد به آنها ستونهای بیولوژیکی نیز میگویند.
ارتفاع برجهای بیولوژیکی از ۲ الی ۶ متر میباشد و در حالت معمولی دارای قابلیت مناسبی برای کاهش ۴۰ الی ۶۰ درصد از غلظت بی اودی را در یک مرحله عبور داشته و با برگشت جریان این قابلیت تا حدود ۸۰٪ نیز افزایش می یابد.
بعلت طرح خاص محیط، پساب غلیظ باعث مسدودیت منافذ فیلتر نمیشود و به این جهت در صنایعی که پساب غلیظ تولید میشود(مثل صنایع داروئی و غذائی) ستونهای بیولوژیکی موارد استعمال زیادی پیدا کرده اند.
ستونهای بیولوژیکی بسیار ساده طرح و ساخته میشوند و بازده زیادی در برداشت مواد آلی دارند ولی بعلت ارتفاع زیاد انرژی بیشتری برای رساندن پساب بسطح فیلتر لازم می باشد ولی با این وجود انرژی مصرفی در مقایسه با روشهای هوادهی بسیار کمتر است . هزینه احداث این نوع بیوفیلتر نیز معمولاً کمتر از سیتمهای مشابه هوازی است و بخش عمده این هزینه مربوط به تهیه پکینگ پلاستیکی میگردد.

فیلترهای دو مرحله ای Two - Stage

در مواقعی که از فیلترهای پر بار استفاده میشود ، معمولا دو فیلتر بصورت سری بکار برده میشوند تا کیفیت فاضلاب تصفیه شده را به حد مطلوب برسانند. باین صورت فیلتر های دو مرحله ای کفته میشود.
این فیلترها معمولاً دارای ارتفاع کمتری از فیلترهای معمولی میباشند. بعلت ارتفاع کم فیلتر، هوای بیشتری در دسترس میکروارگانیزمها قرار میگیرد و غالباً بعلت شدت جریان و عمق کم فیلتر، بندرت مسدود میشود. بازده کاهش مواد آلی در دو مرحله فیلتر از یک فیلتر یک مرحله ای که ارتفاعی برابر مجموع ۲ ارتفاع فیلترهای ۲ مرحله ای داشته باشد بیشتر میباشد و معمولاً مکانیزمی برای برگشت جریان نیز در این بیوفیلترها پیش بینی میشود .
سیستم ADF - (Alternating Double Filteration) نیز نوعی از فیلتر ۲ مرحله ای میباشد که برای جریانهائی با BOD زیاد مناسب است. با توجه به بار آلی زیاد و احتمال گرفتگی سطح فیلتر ، در این سیستم ۲ فیلتر بتناوب مورد استفاده قرار میگیرند یعنی گاهی فیلتر اول ، جریان را حدوداً ۵۰ درصد تصفیه نموده و سپس جریان وارد فیلتر دوم میشود و قبل از آنکه بعلت غلظت زیاد BOD ، این فیلتر سریعاً مسدود شود ، مسیر جریان فاضلاب تغییر پیدا مینماید تا فیلتر دوم در مرحله اول قرار گرفته و فیلتر اول پساب خروجی فیلتر دوم را دریافت کند . در نتیجه اشکالی از بابت گرفتگی فیلتر بعلت علظت زیاد فاضلاب تولید نمیشود و مسدودیتی بوجود نمی آید.



فیلتر ۲ مرحله‌ای با برگشت جریان

بازگشت جریان Recirculation در بیوفیلترها

بازگشت جریان در فیلترهای پر بار و فیلترهای دو مرحله ای بسیار متداول است و باعث رقیق شدن فاضلاب ورودی شده و امتیازاتی دارد که عبارتند از :

۱: جریان بازگشت باعث میشود که فیلتر همواره در حال عمل کردن باشد یعنی اگر جریان ورودی کم بود، بازگشت جریان باعث بحرکت در آوردن بازوهای فیلتر شده و فاضلاب را در جریان مداوم قرار دهد و مانع از سپتیک (غیر هوازی) شدن فاضلاب میگردد.

۲: شدت جریان زیاد باعث شسته شدن قشر بیولوژیکی اضافی گشته و از مسدود شدن فیلتر جلوگیری میکند.

۳: با شسته شدن لارو و تخم حشرات از بیوفیلتر در اثر شدت جریان هیدرولیکی زیاد ، رشد و زادو ولد مگس و حشرات فیلتر تحت کنترل قرار گرفته و از تکثیر حشرات مزاحم کاسته میشود.

۴: بازگشت جریان باعث جریان مداوم روی سطح فیلتر شده که بوی بد فیلتر را کم نموده و همینطور قشر بیولوژیکی را در یک محیط مرطوب حفظ میکند و باعث تداوم فعالیت بیولوژیکی میشود .

طراحی و عملکرد بیوفیلتر (Design & Removal Rate)

تابحال روابط زیاد برای طرح فیلتر پیشنهاد شده است ولی بطور کلی هیچکدام از این روابط دقیقا درست نیست و در تمام شرایط صدق نمیکند. علت این امر در پارامترهای شیمیائی ، فیزیکی و بیولوژیکی زیادی است که در بیوفیلترها وجود دارند و باعث شده اند روابط ریاضی ارائه شده برای بیوفیلتر چندان دقیق نباشند از جمله :

- کیفیت فاضلابهای مختلف از نظر قابلیت تصفیه شدن با هم تفاوتهای بسیاری دارند
- محیطهای مختلف فیلتر (بستر و نوع پکینگ) که هر نوع بیک میزان عمل میکنند
- نحوه پخش فاضلاب روی محیط (بستر) و عبور آن از منافذ محیط داخل بیوفیلتر همواره یکسان نیست
- ضخامت لایه بیولوژیکی (بیوفیلم) و نوع میکروارگانیزم رشد نموده بسیار متنوع است

که مجموع این تغییرات باعث میشوند که فرمول های ریاضی پیشنهاد شده آنطوریکه باید الگوی دقیقی از فیلتر نباشد.

با این حال روشهای عمده طراحی فیلتر که هر کدام دارای امتیازات مخصوص بخود بوده و دارای کاربری متفاوتی میباشند نام برده میشوند :

۱- رابطه NRC

روش محاسبه فیلتر معروف به N.R.C (سازمانی نظامی در ایالات متحده امریکا) منحنی هائی را بصورت تجربی برای استفاده در طراحی بیوفیلترها پیشنهاد نموده است. این منحنی ها که از تجربیات زیاد بدست آمده اند برای تصفیه فاضلاب خانگی در درجه حزارت ۲۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است .

منحنی های NRC در شکل ضمیمه قید شده اند و رابطه ریاضی آنها نیز بشرح زیر است.

برای فیلتر مرحله اول :

$$E1 = \frac{Co - Ce}{Co} = \frac{1}{1 + 0.532\sqrt{\frac{Q.Co}{V.F}}}$$

$$F = (1+R) / (1+0.1R)^2$$

برای فیلتر مرحله دوم (در سیستم دو مرحله ای :

$$E2 = \frac{Ce - Cf}{Ce} = \frac{1}{1 + \frac{0.532\sqrt{\frac{Q.Ce}{V'.F'}}}{1 - E1}}$$

$$F' = (1+R')/(1+0.1R')^2$$

در روابط NRC پارامتر های بکار برده شده عبارتند از :

بازدهی حذف BOD در مرحله اول	= E1	
: : : : : دوم	= E2	
جریان هیدرولیکی برحسب متر مکعب در دقیقه	= Q	
غلظت فاضلاب ورودی برحسب میلیگرم بی او دی در لیتر	= Co	
غلضت فاضلاب خروجی بر حسب میلیگرم بی او دی در لیتر	= Ce	(بیوفیلتر مرحله اول)
غلظت فاضلاب خروجی : : : : : :	= Cf	(بیوفیلتر مرحله دوم)
حجم بیوفیلتر اول برحسب متر مکعب	= V	
حجم بیو فیلتر دوم بر حسب متر مکعب	= V'	
ضریب برگشت جریان	= F	(در بیو فیلتر دوم F')
نسبت برگشت جریان	= R	(در بیوفیلتر دوم R')

روابط پیشنهاد شده توسط NRC (بصورت منحنی یا بصورت رابطه ریاضی) را بعنوان معتبر ترین روشهای محاسبه و طراحی بیوفیلتر ها محسوب نموده اند .

رابطه فوق که درصد حذف بی او دی در بیوفیلتر را نشان میدهد در درجه حرارت ۲۰ درجه سانتیگراد میباشند، تغییرات درجه حرارت در بازده فیلتررا بصورت زیر میتوان تعریف نمود:

$$E2 = E20 \times 1.035^{(T-20)}$$

E20 = بازدهی فیلتر در ۲۰ درجه سانتی گراد

T = درجه حرارت بر حسب

۲- فرمولهای پیشنهادی Eckenfelder, Howland

در روابطی که ابتدا توسط هولاند ارائه شد و بعدها توسط اکنفلدر بصورت کاملتری پیشنهاد گردید راندمان (بازدهی) فیلتر تابعی از شدت جریان هیدرولیکی ، عمق فیلتر ، نوع بستر ، و پارامتر ضریب تصفیه بیولوژیکی در نظر گرفته شده است. این رابطه با توجه به این فرض که واکنش تجزیه مواد آلی واکنشی مشابه واکنشهای شیمیائی درجه اول بوده و سیستم از نظر هیدرولیکی مشابه سیستمهای با رژیم جریان نهر گونه (Plug Flow) است بشکل های زیر بیان شده است:

$$\frac{Ce}{Co} = e^{-k.t}$$

$$t = C \cdot D^{m} / Q^{n}$$

$$Ce/Co = \exp(-k.C.D^{m}/Q^{n})$$

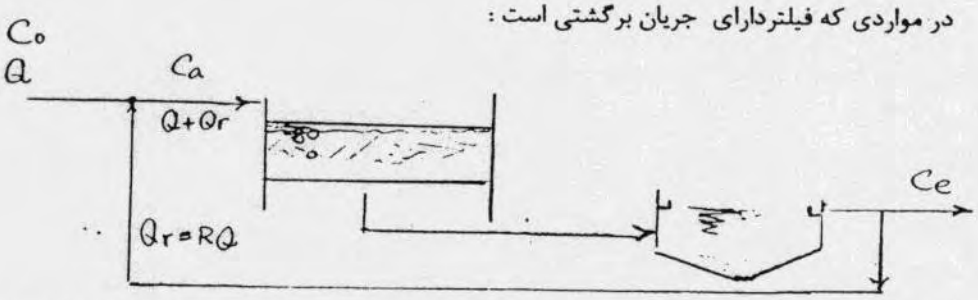
Q بار هیدرولیکی فیلتر، D ارتفاع فیلتر، ضریب بیولوژیکی ، m,n هر دو ثابت (در فیلترهای سنگی m=1 و n= 0.6) بدیهی است که مقادیر m,n و C بستگی به نوع پکینگ و محیط فیلتردارد.

K ضریب بیولوژیکی در درجه حرارت مختلف متفاوت است :

$$k = k_{20} \times 1.035^{(T-20)}$$

در مواردی که فیلتردارای جریان برگشتی است :

$$R = Qr/Q$$



موازنه جرم حول نقطه ورود به فیلتر

$$Co \times Q + R.Q.Ce = Ca.(Q+R.Q)$$

$$Ca = [Co + R.Ce] / (1+R)$$

Co ، غلظت فاضلاب ورودی بر حسب mg/l BOD

Ce ، غلظت فاضلاب خروجی

Ca ، غلظت فاضلاب مخلوط با جریان برگشتی (ورودی و بازگشتی) بر حسب mg/l BOD

$$Ce/Ca = e^{-kt}$$

از جانشین کردن Ca (از رابطه قبلی) ، رابطه جدیدی بدست میاید :

$$Ce/Co = (e^{-kt}) / (1+R-R.e^{-kt})$$

Ce غلظت پساب خروجی نهائی (BOD mg/l) و Co غلظت پساب ورودی بر فیلتر میباشد:

معمولا اگر در یک فیلتر که جریان بازگشت داده نمیشود، تصمیم بـه بازگشت جریـان گرفتـه بشـود ، ممکـن اسـت ضریـب بیولوژیکی k و زمان عبور فاضلاب در فیلتر (t) و همچنین پارامترهای m , n, و C تغییراتی نمایند کـه در رابطـه هـای بدست آمده فوق منظور نشده اند بهمین دلیل کمتر از روابطی مثل رابطه هولاند برای طراحی بیوفیلتر ها استفاده میشود.

رابطه اکنفلدر (Ekenfelder) نیز که فرم کاملتری از رابطه هوالاند است بشکل زیر تعریف شده است :

$$\frac{Ce}{Co} = \exp[-k.S.\ D^{m}.\ Qv^{n}\ ]$$

k ضریب تجزیه بیولوژیکی ، S سطح مخصوص آکنه (پکینگ) ، D عمق فیلتر ، Qv بار هیدرولیکی سطحی فیلتر و m و n ضرایب ثابت میباشند.

روابط مشابه دیگری نیز توسط سایرین پیشنهاد شده است.

مثال : تصفیه خانه ای تشکیل شده است :

a) یک مخزن ته نشینی مقدماتی بقطر ۱۸ متر و ارتفاع مفید ۲ متر ، b) یک فیلتر بیولوژیکی بقطر ۳۰ متر و ارتفاع ۲ متر

c) یک مخزن ته نشین سازی نهائی بقطر ۱۷ متر و ارتفاع ۲ متر .

جریان ورودی به تصفیه خانه ۵۲۰۰ مترمکعب در روز و حد متوسط غلظت BOD ورودی برابر با ۲۲۰ میلیگرم در لیتر است .

محاسبه کنید :

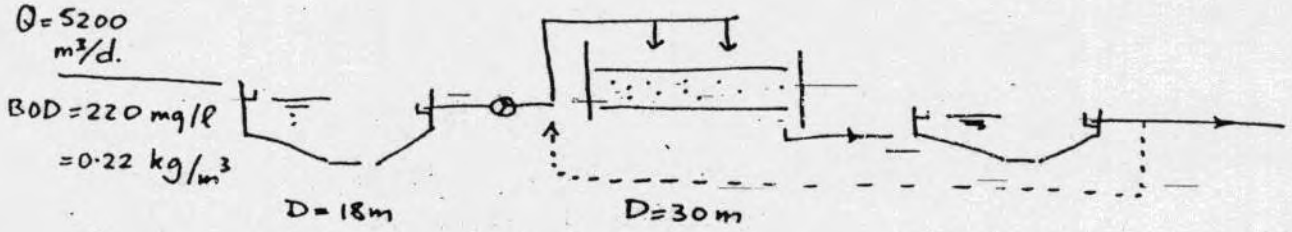
۱: بار وارده آلی و هیدرولیکی بر مخزن ته نشینی اولیه و بیوفیلتر را .

۲: با استفاده از معادلات NRC راندمان فیلتر را در ۲۰ و ۱۶ درجه محاسبه کرده در صورتیکه فرض شود در مخزن ته نشینی اولیه بعات ته نشین شدن مواد معلق حدود ۳۰٪ غلظت بی او دی ورودی کاسته میشود .

۳: با استفاده از رابطه هولاند که ضرایب آن عبارتست از $n= 0.6$, $m= 1$, $C= 4.6$ و Q بار آلی بر حسب مترمکعب بر متر مربع سطح فیلتر در روز و k بر حسب ساعت بتوان ۱ - , (hr^{-1}) میباشد، ضریب بیولوژیکی k را در ۲۰ درجه محاسبه کنید. (برای در صد حذف بی او دی از رابطه NRC استفاده کنید.)

۴: اگر ۵۰درصد جریان خروجی از مخزن ته نشینی نهائی به ورودی فیلتر بیولوژیکی بازگشت داده شود و این عمل باعث کاهش غلظت BOD خروجی از تصفیه خانه بمیزان ده درصد گردد، بار آلی و هیدرولیکی وارد بر فیلتر را طبق رابطه هولاند محاسبه کنید .

۵: راندمان کلی حذف بی اودی تصفیه خانه را نیز در 20 C محاسبه نمائید.



Sedimentation Tank : $D = 18\ m$ $A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 18^2}{4} = 254\ m^2$

$V = \frac{\pi d^2}{4} \times h = 509\ m^3$

بار سطحی Surface Loading Rate : $SLR = \frac{Q}{A} = \frac{5200}{254} = 20.5\ m^3/m^2.day$

Retention Time زمان ماند $= \frac{V}{Q} = \frac{509}{5200} \times 24 = 2.35\ hrs.$

Biofilter : $A = \frac{\pi d^2}{4} = 706.5\ m^2$ سطح بستر

$V = \frac{\pi d^2}{4} \times 2 = 1413\ m^3$ حجم بستر

Surface Loading Rate $S.L.R = \frac{Q}{A} = \frac{5200}{706.5} = 7.36\ m^3/m^2.day$: بار سطحی هیدرولیکی

Organic Loading Rate $= O.L.R = \frac{Q.BOD}{A} = \frac{5200 \times 0.22}{706.5}$: بار سطحی آلی

$= 1.62\ kg\ BOD/m^2.day$

اگر 30٪ حذف در مخزن ته نشینی اولیه نیز در نظر گرفته شود :

$O.L.R = 1.62\ (1-0.3) = 1.13\ kg\ BOD/m^2.day$

راندمان بیوفیلتر - NRC

$$NRC = \frac{C_{in} - C_o}{C_{in}} = E = \frac{1}{1 + 0.532\sqrt{\frac{Q.C}{V.F}}}$$

$Q = 5200 \ m^3/day \Rightarrow \frac{5200}{24\times60} = 3.6 \ m^3/min$ دبی جریان ورودی

$C = 220 \ mg/l \Rightarrow 220 \times (1-0.3) = 154 \ mg/l$ غلظت BOD ورودی به ترکیب در دقیقه

$V = 1413 \ m^3$ (با فرض 30٪ کاهش BOD در تانکهای اولیه)

$F = \frac{1+R}{(1+0.R)^2} \Rightarrow R=0 \Rightarrow \underline{F=1}$

$$\therefore \varepsilon = \frac{1}{1+0.532\sqrt{\frac{3.6\times154}{1413\times1}}} = \frac{1}{1+0.33} = 0.75$$

$= 75\ \%$

راندمان حذف BOD در $20^\circ C$

$\varepsilon_{20} = 0.75$

$\varepsilon_{16} = \varepsilon_{20} \times 1.035^{T-20} \Rightarrow 0.75 \times 1.035^{-4} = 0.65$

$\approx 65\ \%$

(با کاهش دما، راندمان حذف BOD نیز افت می‌کند)

استفاده از رابطه هوولند:

$$\frac{Ce}{Co} = e^{-kt} = e^{-k.C.D^m/Q^n}$$

$Q = \frac{5200}{706.5} = 7.36 \ m^3/m^2.day$

با فرض آنکه بازدهی حذف BOD همان ٪75 باشد:

$D = 2 \ m$

$m = 1$

$n = 0.6$

$C = 4.6$

$\frac{C_{in}-Ce}{C_{in}} = 0.75 \Rightarrow 1-\frac{Ce}{C_{in}} = 0.75$

$\therefore \frac{Ce}{C_{in}} = 0.25$

$\therefore \frac{Ce}{Co} \Rightarrow 0.25$

$$\frac{C_e}{C_o} = 0.25 = e^{-k \cdot C \cdot D^m / Q^n} =$$

$$\ln 0.25 = -1.38 = -k \cdot C \cdot D^m / Q^n$$

$$1.38 = k \times 4.6 \times 2^{1} / 7.36^{0.6}$$

$$\therefore k = 0.5\ hr^{-1} \simeq 48\ day^{-1}$$

بازگشت جریان به مبنای ۰ در رابطه حوله :

$$\frac{C_e}{C_o} = 0.25$$

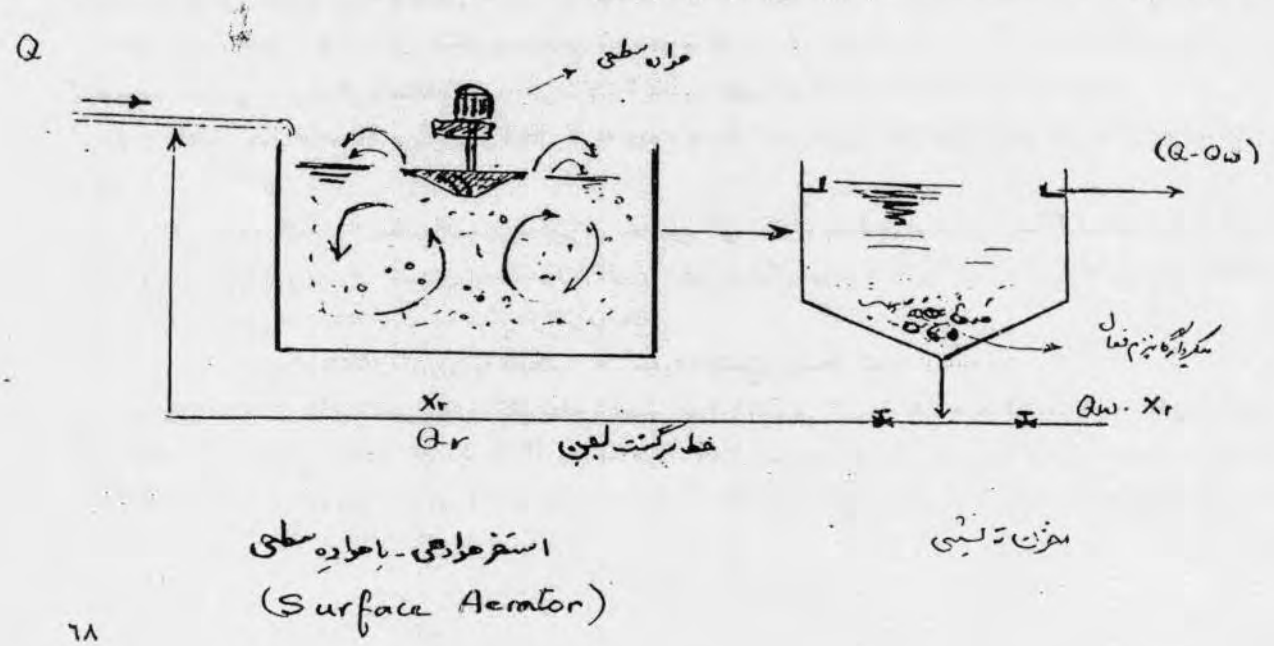
$$C_e = 0.25 \times 154 = 38.5$$

$$C'_e = 38.5 \times (1 - 0.1) = \underline{34.65}$$

مقدار جدید BOD خروجی
(با بازگشت جریان)

فرایند لجن فعال شده Activated Sludge Process

فرایند لجن فعال سالها پس از بیوفیلتر توسعه یافت و در صنعت تصفیه فاضلابها بکار گرفته شد.
این روش برمبنای رشد بیولوژیکی شناور (توده های میکربی غوطه ور در فاضلاب) که در تجزیه مواد آلی محلول فاضلاب فعال میباشند شکل گرفته . در حالیکه بیو فیلترها از فرایندهای Fixed Film - رشد چسبیده - بشمار میروند و در آنها توده های میکربی بصورت بیوفیلم به بستری متصل بوده و ثابت میباشند ، در پروسس لجن فعال شده توده های میکربی شناور و غوطه ور در فاضلاب عامل تجزیه بیولوژیکی مواد آلی موجود در فاضلاب محسوب میشوند .
پساب (فاضلاب) که دارای مواد آلی و مواد مغذی برای رشد بیولوژیکی میباشد وارد مخزن هوادهی میگردد. در این مخزن هوا برای ایجاد اکسیژن محلول در محیط به فاضلاب از طریق سیستم هوادهی مکانیکی (سطحی) و یا بوسیله هوادم های فشاری (کمپرسور) به فاضلاب افزوده میشود. میکروارگانیزمهای موجود در مخزن هوادهی با استفاده از مواد آلی موجود در فاضلاب و اکسیژن محلول رشد نموده و به این ترتیب مواد آلی محلول تبدیل به جرم میکربی (نامحلول) میگردد.
پس از توقف چندین ساعته در استخر هوادهی ، فاضلاب همراه با توده های میکربی شناور به مخزن ته نشینی انتقال یافته و در این مخزن توده ها و لخته های تشکیل یافته از میکروارگانیزمها ته نشین میگردند و برای حفظ غلظت میکروب ها در مخزن هوادهی ، بوسیله پمپ به مخزن (استخر) هوادهی بازگشت داده میشوند.به این جریان " لجن برگشتی" گفته میشود.
مقداری از میکروارگانیزمها نیز بصورت لجن اضافی دفع میگردند.
فعل و انفعالاتی که عمل تغذیه میکروارگانیزمها از مواد آلی محلول را دقیقا" تشریح نماید مشخص نیست ولی نظر داده شده است که ابتدا میکروارگانیزمها مواد آلی موجود در پساب را بصورت هاله ای بدور خود حذب میکنند و با دسترسی به حباب های بسیار کوچک اکسیژن ، مواد جذب شده را بتدریج مصرف می نمایند.
میکرو ارگانیزم های ته نشین شده در برگشت به استخر هوادهی (لجن برگشتی) عامل اصلی در تجزیه مواد آلی و تصفیه فاضلاب محسوب میشوند لذا باین فرایند " فرایند لجن فعال " گفته میشود.
(بعبارت دیگر میکروراگانیزمها در طول مسیر خود از استخر هوادهی به تانک ته نشینی و بازگشت مجدد به استخر هوادهی بعلت دور بودن از مواد آلی و مواد مغذی در یک حالت قحطی وارد مخزن هوادهی میگردندو با فعالیت بیشتری شروع به جذب مواد غذائی میکنند ، از اینرو به این توده های میکربی " لجن فعال شده " اطلاق میشود).



در فرایند لجن فعال شده ، یکی از عوامل مهم انتقال هوا (اکسیژن) به جرم میکربی است ، در حقیقت این فرایند را بصورت دو مرحله ای تعریف میکنند :

مصرف اکسیژن — انتقال اکسیژن

سلول بیولوژیکی → ———— اکسیژن حل شده → ———— هوا (اکسیژن)

بنابراین اکسیژن از طریق هوا باید ابتدا در فاضلاب حل گردد تا سلول قادر به استفاده از آن باشد. در مرحله اول شدت انتقال اکسیژن از هوا به فاضلاب بستگی به مقدار اکسیژن حل شده در آب دارد.

$$R = \frac{dC}{dt} = k (\beta C^* - Ct)$$

هر قدر غلظت اکسیژن محلول در فاضلاب کمتر باشد بمفهوم $\Delta C = C^* - Ct$ بزرگتر و در نتیجه سرعت انتقال جرم (انتقال اکسیژن به فاضلاب) بیشتر خواهد بود . در رابطه فوق ،

$R =$ شدت انتقال هوا بر حسب میلیگرم در لیتر در ساعت

$\beta =$ ضریب اشباع اکسیژن برای پساب بخصوص (معمولاً در حدود 0.9-0.45) .

$k =$ ضریب انتقال جرم (اکسیژن به فاضلاب) که بستگی بخواص پساب و سیستم هوارسانی دارد

$C^* =$ غلظت اکسیژن اشباع شده (10-7 میلیگرم در لیتر)

$Ct =$ غلظت اکسیژن حل شده در مایع مخلوط میلی گرم در لیتر

$\beta C^* - Ct =$ کمبود اکسیژن یا اکسیژن مورد نیاز (میلی گرم در لیتر)

رابطه فوق رابطه انتقال اکسیژن به فاضلاب میباشد. همچنانکه ملاحظه میشود هر چقدر غلظت اکسیژن محلول Ct بشتر باشد، مقدار R که شدت انتقال جرم میباشد کمتر خواهد گردید. ضریب k ، ضریبی است که به خواص فاضلاب و جزئیات فیزیکی سیستم هوادهی ، مثل نوع هوا پخش کن (دیفیوزر) ، عمق ورود هوا به فاضلاب ، تلاطم و میزان اختلاط در فاضلاب ، شکل فیزیکی مخزن، حرکت سیال در استخر ، دمای فاضلاب و ... ارتباط دارد .

اگرچه طبق تئوری انتقال جرم " لایه های مرزی " (Boundary Layer Theory) در فرایند انتقال ملکول اکسیژن از توده حباب هوا به داخل سلول میکرو ارگانیزم ، چندین لایه مختلف که هر یک میتوانند مانعی بر سر راه این انتقال جرم ایجاد کنند وجود دارد ، ولی در عمل با ساده نگری به این فرایند ۲ عامل را مهم تر و کنترل کننده میتوان فرض نمود.

(به تئوری انتقال جرم لایه های مرزی برای انتقال گاز به توده مایع و از توده مایع به توده جامد و مصرف توسط جامد مراجعه شود.)

دو عاملی که باعث میگردند تا غلظت اکسیژن محلول در حد ثابتی باقی بماند و پایداری سیستم حفظ گردد عبارتند از میزان انتقال اکسیژن به مایع و مصرف اکسیژن توسط میکروارگانیزم . بعبارت دیگر میزان انتقال اکسیژن به فاضلاب باید معادل میزان مصرف اکسیژن در فاضلاب توسط میکرو ارگانیزمها باشد .

میزان انتقال اکسیژن به فاضلاب = مصرف اکسیژن توسط میکرو ارگانیزمها

مقدار اکسیژن مورد نیاز برای تنفس میکروارگانیزمها و یا شدت مصرف اکسیژن تابعی است که به غلظت توده میکروارگانیزم MLVSS و بار ورودی بر استخر BOD Load و درجه حرارت و متابولیزم میکروارگانیزمها بستگی دارد. در عمل متابولیزم میکروارگانیزمها فقط تا حد نقطه بحرانی ، که معمولاً در حدود 2.0 - 0.5 میلی گرم در لیتر اکسیژن محلول میباشد ، به

غلظت اکسیژن محلول بستگی پیدا میکند و چنانچه مقدار DO بیش از این حد باشد ، متابولیزم میکروارگانیزم ها مستقل از اکسیژن محلول خواهد بود. در نتیجه سیستم های هوادهی بنحوی طرح میگردند که غلظت اکسیژن محلول در پساب را در حدود 2.0 میلی گرم در لیتر حفظ و تامین کنند. نیازی به غلظت های بیشتر اکسیژن عملاً وجود ندارد و چون اکسیژن بیشتر موجب اتلاف انرژی دستگاه های هوادهی خواهد بود از نظر اقتصادی هوادهی بیش از این میزان بصرفه نخواهد بود.
همچنین چنانکه دیده شد در غلظت های کم اکسیژن ، شدت هوارسانی بیشتر خواهد بود یعنی راندمان سیستم هواده بالاتر است بنابراین در هر حال صلاح در این است که غلظت اکسیژن در تانک هوادهی در حدود نقطه بحرانی (0-2 میلی گرم در لیتر حفظ گردد).

عوامل مهم و تعیین کننده در فرایند لجن فعال

بدلیل ماهیت خاص این نوع بیوراکتور (لجن فعال) عوامل متعدد و مختلفی در عملکرد این سیستم نقش دارند. برخی از این عوامل را بشرح زیر تعریف میشوند .

غلظت میکربی

مایع داخل مخزن هوادهی که مشتمل بر فاضلاب و میکرب های شناور میباشد به Mixed Liquor (مایع مخلوط) معروف میباشدو غلظت ذرات شناور در استخر هوادهی به M.L.S.S - Mixed Liquor Suspended Solids (مواد معلق و شناور مایع مخلوط) نامیده میشود. این غلظت مربوط به مواد جامد معلق و شناور معدنی یا آلی از جمله میکروارگانیزمها میباشد.
MLSS در استخرهای هوادهی با توجه به نوع سیستم لجن فعال شده معمولاً در حدود 4000 - 2000 میلی گرم در لیتر میباشد. در حدود ۸۰ - ۷۰٪ MLSS را جرم میکرب های فعال تشکیل میدهند که عمل تصفیه بیولوژیکی (تجزیه مواد آلی محلول) را انجام میدهند ، و به آنها M.L.V.S.S -Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (مواد جامد معلق و شناور و فرار در مایع مخلوط) گفته میشود.
بنابراین برای مشخص نمودن غلظت میکربی ، باید موادمعلق در استخر هوادهی (MLSS)را اندازه گیری نموده و در ضریب ۰/۷ ضرب نمود تا غلظت میکربی (MLVSS) تعیین شود .
معمولاً هر چقدر غلظت میکربی در استخر هوادهی بیشتر باشد قابلیت تصفیه بیولوژیکی نیز افزایش میابد ولی محدودیت انتقال اکسیژن به فاضلاب باعث میگردد که امکان افزایش این غلظت از حدود قید شده میسر نگردد.

میزان اکسیژن و هوای مورد نیاز

مقدار اکسیژن مورد نیاز را میتوان از طریق موازنه جرم و میزان فعالیت میکروارگانیزمها محاسبه نمود ولی بطور متعارف با روشهای تجربی نیز میتوان این مقدار را محاسبه نمود.

مقدار هوای مورد نیاز برای سیستم های مختلف متفاوت میباشد ولی بطور کلی پروسس لجن فعال شده را به سیستم های زیر طبقه بندی می نمایند که مقدار متعارف هوای مورد نیاز آنها متفاوت میباشد. این تقسیم بندی بر مبنای نوع حرکت فاضلاب در مخزن یا زمان و میزان هوادهی و یا نحوه پخش هوا در مخزن فاضلاب است.

۱: سیستم لجن فعال عادی Conventional و یا هوارسانی با کاهش تدریجی (Tapered Aeration) در حدود ۴۰ الی ۷۰ مترمکعب هوا برای هر کیلوگرم BOD ورودی ، تقریباً معادل ۱ الی ۱/۳ کیلوگرم کیلوگرم اکسیژن برای هر کیلوگرم بی او دی ورودی به مخزن هوادهی.

۲: سیستم مرحله ای (Step Aeration) و سیستم کاملاً مخلوط (Complete Mix) حدوداً نیاز به ۷۰ الی ۱۰۰ مترمکعب هوا برای هر کیلوگرم BOD ورودی دارند (۱/۳ الی ۱/۶ کیلوگرم اکسیژن به ازاء هر کیلوگرم BOD) .

۳: سیستم های هوادهی تثبیت و تماس (Contact Stabilisation) و سیستم هوادهی ممتد(Extended Aeration) در حدود ۱۰۰ الی ۱۵۰ مترمکعب هوا برای هر کیلوگرم BOD بار آلی ورودی نیاز دارند. (۱/۶ الی ۲ کیلوگرم اکسیژن به ازاء هر کیلوگرم BOD) .

اعداد و ارقام فوق بطور تقریبی میباشد و تابع عوامل متعددی است که قبلاً نام برده شده اند.

مثال : فاضلابی در ۲۰ درجه سانتی گراد دارای ضریب انتقال جرم هوا به آب $k = 3.0\ (hr)^{-1}$ (ساعت بتوان ۱-) و ضریب انتقال اکسیژن $\beta = 0.9$ میباشد. هرگاه غلظت اکسیژن در این فاضلاب 4.0 mg/l و غلظت اکسیژن اشباع شده 9.0 mg/l باشد . شدت انتقال هوا را محاسبه کنید ؟ اگر شدت هوادهی ثابت نباشد در حالیکه غلظت اکسیژن محلول به 1.0 mg/l برسد شدت هوا دهی چه مقدار خواهد شد؟

$R = k . (\beta . C^* - C_t)$

$R1 = 3 . (0.9 \times 9.0 - 4.0) = 12.3$ mg/ hr. lit.

$R2 = 3 . (0.9 \times 9.0 - 1.0) = 21.3$ mg/ hr. lit.

همانگونه که ملاحظه میگردد ، در حالیکه غلظت اکسیژن محلول بیشتر است میزان (شدت) هوادهی کمتر از حالتی میباشد که غلظت اکشسیژن محلول بالاتر است.

با در دست داشتن شدت اکسیژن (هوا) موردنیاز میتوان نیروی مورد نیاز را بر حسب کیلووات یا قوه اسب برای سیستم هوادهی محاسبه نمود.

بار وارد بر استخرهای هوادهی

یکی از عوامل مهم در استخرهای هوادهی بار آلی وارد بر استخر هوادهی است. این عامل بصورت کیلو گرم BOD بر متر مکعب حجم استخر تعریف میشود.

بار وارد بر استخرهای هوادهی معمولاً از حدود ۰/۲۵ الی ۱ کیلوگرم BOD بر متر مکعب در روز میباشد.

بعنوان مثال برای یک استخر هوادهی که روزانه ۱۲۰۰ متر مکعب فاضلاب با غلظت BOD=300 mg /l را میپذیرد و حجم مفید آن ۱۰۰۰ متر مکعب است، بار آلی حجمی برابر است با:

کیلوگرم "باد" بر متر مکعب حجم در روز = $BOD\ load = 1200 \times 300 \times 10^{-3} / 1000 = 0.36$

نسبت غذا به میکروارگانیزم یا F/M

یکی از پارامترهای مهم در سیستم لجن فعال شده نسبت مواد غذائی به توده میکربی است که یا نسبت F/M و یا بعبارت کاملتر Food / Microorganism بیان میشود. این پارامتر نشان دهنده میزان بار آلی ورودی به مقدار میکروارگانیزم موجود در استخر هوادهی است.

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \,.\, BOD}{V \,.\, MLVSS}$$

F/M نسبت مواد غذائی به میکروارگانیزمها و دارای واحد $^{-1}$(روز) ، Q شدت جریان برحسب متر مکعب در روز ، BOD غلظت فاضلاب ورودی بر حسب میلی گرم در لیتر ، V حجم استخر هوادهی بر حسب متر مکعب و MLVSS غلظت مواد معلق و شناور فرار در مایع مخلوط بر حسب میلیگرم در لیتر است. (گاهی نیز F/M را بر حسب کیلوگرم MLSS مواد معلق و شناور مایع مخلوط محاسبه میکنند که باعث میگردد با ضریبی معادل ۰/۷ تفاوت پیدا نماید.)

در حقیقت F/M نشان دهنده بار گذاری سیستم لجن فعال است. مقدار این نسبت معمولاً در سیستم های کم بار در حدود ۰/۵ الی ۰/۱۵ در روز و در سیستم های پربار تا حدود ۰/۴ الی ۰/۶ نیز میباشد.

زمان هوادهی

زمان هوادهی در حقیقت همان زمان ماند هیدرولیکی در استحر هوادهی است. برای محاسبه زمان هوادهی حجم استخر بر میزان جریان حجمی ورودی به استخر هوادهی محاسبه میشود.

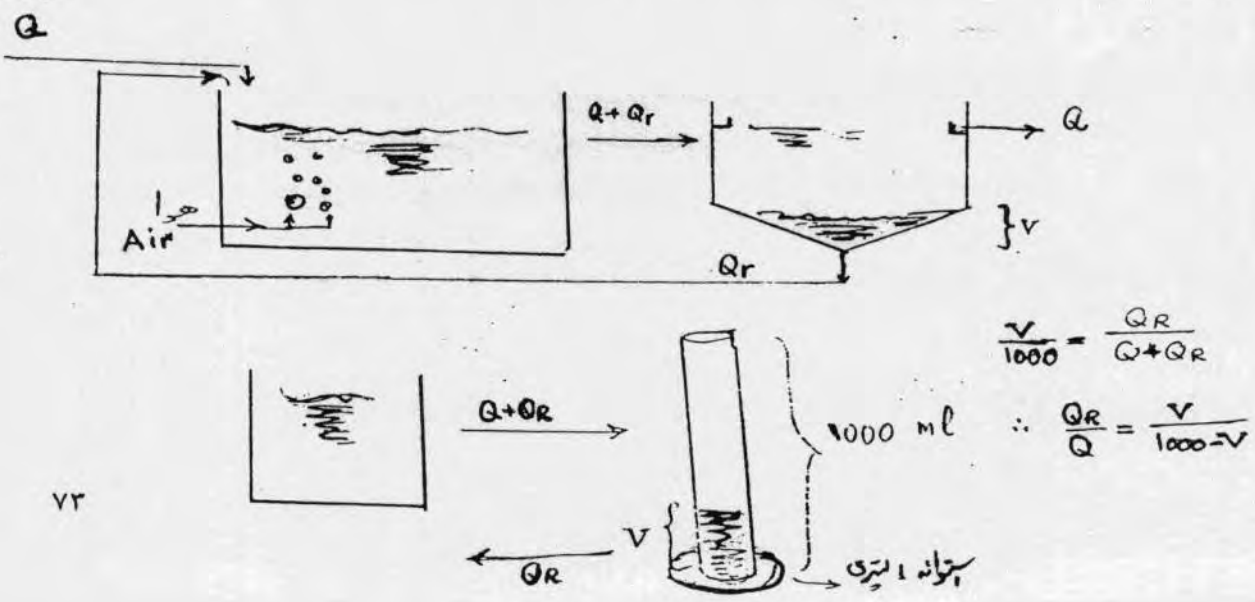
زمان هوادهی معمولاً بر حسب روز یا ساعت تعریف میشود:

$$\Theta = \frac{V}{Q} = \frac{m3}{m3 / day} = day$$

بار آلی و زمان هوادهی پارامترهائی هستند که میزان بار گذاری سیستم را نشان میدهند. مثلاً اگر :
غلظت BOD فاضلابی در ورودی به استخر هوادهی برابر با 200 mg/l باشد، زمان هوادهی 24 ساعت و بار آلی 0.1 کیلوگرم BOD در مترمکعب در روز باشد ، اگر غلظت BOD همان فاضلاب 200 mg/l ولی زمان هوادهی 8 ساعت بگردد بار آلی 0.3 کیلوگرم BOD در مترمکعب در روز خواهد شد.
F/M پارامتری است که کیلوگرم BOD در روز را بر کیلوگرم MLSS بدون ذکر پریود هوادهی و یا بار آلی و غیره تعریف میکند. مثلاً اگر دو سیستم دارای F/M مشابهی باشند، سیستم اولی از نوع E.A (هوادهی طولانی) با زمان توقف 24 ساعت و غلظت MLSS = 600 mg/l و دارای نسبت $F/M = 1/3\ day^{-1}$ باشد ، سیستم دومی میتواند همان فاضلاب را (غلظت BOD یکسان) در 8 ساعت تصفیه کند اگر MLSS = 1800 mg/l باشد چون نسبت F/M = 1/3 (همان نسبت قبلی) میباشد . یعنی در حقیقت در رابطه $F/M = Q . BOD / V . MLSS$ هم Q و هم MLSS را به سه برابر در سیستم دوم افزایش داده شده است ولی F/M فرقی نمیکند.
(توجه شود که در این روابط در محاسبه F/M از MLSS بجای MLVSS استفاده شده است).

شدت جریان لجن بر گشتی

اصولاً عملکرد فرایند لجن فعال تابع غلظت میکروارگانیزم در استخر هوادهی است . در اثر جریان حجمی ورودی فاضلاب میکروارگانیزمها از استخر هوادهی شسته شده و خارج میشوند و لذا این امر باعث کاهش غلظت میکربی و افت بازدهی سیستم خواهد شد. برای جلوگیری از این اتفاق لجن ته نشین شده در استخر ته نشینی ثانویه به استخر هوادهی بر گشت داده میشود.
میزان بازگشت لجن فعال شده از تانک ته نشینی نهائی به تانک هوادهی بر حسب درصد جریان پساب ورودی محاسبه میشود. مثلاً اگر در تصفیه خانه ای که شدت جریان ورودی (پساب خام) 10000 مترمکعب در روز و میزان بازگشت لجن فعال شده 30% باشد، شدت جریان این لجن 3000 مترمکعب در روز خواهدبود.
نسبت جریان بر گشتی به جریان ورودی را معمولاً با R که مفهوم Recycle را میرساند نشان میدهند.
میزان بر گشت لجن را از طریق موازنه جرم میکربی حول مخزن ته نشینی میتوان محاسبه نمود ، ولی معمولا در حدود ۲۵ الی ۱۰۰ در صد جریان ورودی فا ضلاب است.
همچنین مبزان جریان برگشتی را از طریق آزمایش استوانه یک لیتری نیز میتوان محاسبه نمود. در این آزمایش یک لیتر از مایع مخلوط استخر هوادهی به یک استوانه اندازه گیری یک لیتری منتقل میشود و حجم لجن ته نشین شده در مدت نیم ساعت اندازه گیری میگردد. نسبت این حجم به یک لیتر حجم اولیه معادل نسبت لجن بر گشتی به کل جریان ورودی به مخزن ته نشینی است.



لجن مازاد

در اثر فعالیت میکرو ارگانیزمها ، مواد آلی محلول تبدیل به سلولهای جدید (میکروارگانیزم تکثیر یافته) میگردند که لجن بیولوژیکی را تشکیل میدهند و در مخزن ته نشینی ته نشین میشوند. بمنظور حفظ پایداری سیستم و ثابت نگه داشتن غلظت میکرو ارگانیزمها ، بطور مرتب بخشی از لجن ته نشین شده در مخزن ته نشینی را تحت عنوان لجن اضافی یا لجن مازاد (Excess Sludge) باید از محیط خارج نمود. جریان لجن مازاد را با حرف Qw نشان میدهند.

لجن مازاد قابل محاسبه است و معمولاً با فرض آنکه بخشی از BOD ورودی تبدیل به سلولهای جدید شده (که در حقیقت همان لجن مازاد است) ، این محاسبه انجام میشود. لجن ته نشین شده معمولاً دارای غلظتی معادل حدوداً ۱ الی ۱/۵ درصد است (در صد جامد به مایع لجن) ، بنابراین وزن خشک و حجم لجن را میتوان محاسبه نمود:

وزن خشک لجن مازاد - بر حسب کیلوگرم در روز = $Q \times (BOD_o - BOD_e) \times f$

حجم لجن تر با فرض جامد ۱/۲ در صد - برحسب لیتر در روز = $Q_w = Q.(BOD_o - BOD_e).f / (1.2/100)$

(در این محاسبه فرض شده که وزن مخصوص لجن نیز معادل ۱ میباشد- در حالیکه این رقم معمولاً در حدود ۱/۰۵ یا ۱/۰۳ میباشد).

عمرلجن Sludge Age یا زمان ماند سلولی

عمر لجن زمان توقف لجن در استخر هوادهی است. در حالیکه زمان توقف فاضلاب (زمان ماند هیدرولیکی) در استخر هوادهی عالباً از ۳۰ ساعت تجاوز نمیکند زمان توقف لجن و یا اصطلاحاً عمر لجن به روزها میرسد ، یعنی در حقیقت فاضلاب پس از تصفیه از سیستم خارج میگردد در حالیکه لجن همواره به تانک هوادهی باز میگردد و در نتیجه طی کردن این سیکل دارای زمان توقف طولانی تری در سیستم میباشد.

روش محاسبه این پارامتر بصورت زیر است :

$$\text{زمان ماند سلولی} = \frac{\text{کیلوگرم MLSS در تانک هوادهی}}{\text{کیلوگرم مواد معلق (SS) در پساب خروجی + کیلوگرم مواد معلق در لجن دور ریز}}$$

$$\Theta c = \frac{V \cdot MLVSS}{Qw \cdot Xr + (Q - Qw) \cdot Xe}$$

با توجه باینکه مقدار Xe در حدود ۳۰ الی ۴۰ میلیگرم در لیتر و مقدار Xr در حدود ۱۰،۰۰۰ الی ۱۵،۰۰۰ میلیگرم در لیتر است ، در رابطه فوق میتوان از بخش $(Q - Qw) \cdot Xe$ صرفنظر نموده و باین ترتیب :

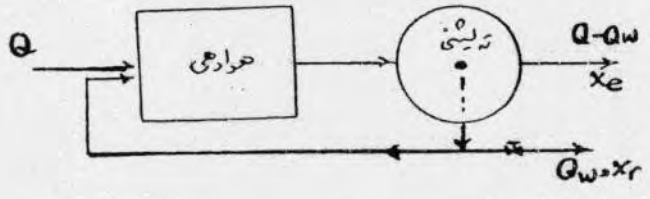
$$\Theta c = \frac{V \cdot MLVSS}{Qw \cdot Xr}$$

Xe - غلظت میکروارگانیزم در فاضلاب تصفیه شده

Xr - غلظت میکروارگانیزم در لجن ته نشین شده

Q - جریان ورودی

Qw - جریان لجن مازاد



قابلیت ته نشینی لجن

هرگاه توده های میکروبی براحتی در مخزن ته نشینی نهائی رسوب نکنند فاضلاب تصفیه شده شفاف و زلال نخواهد بود و در نتیجه غلظت میکربی در مخزن هوادهی کاهش یافته و این امر باعث افت بازدهی سیستم میشود. فاضلاب خروجی از سیستم نیز بعلت وجود مقدار زیادی از مواد معلق و شناور دارای BOD زیادی خواهد بود.

در نتیجه ته نشین لجن یکی از نکات مهم سیستم های هوادهی و استفاده از لجن فعال شده میباشد . علل مختلفی برای خوب رسوب نکردن لجن تعریف شده است . این پدیده که بنام " بالکینگ - Bulking " یا " تورم لجن " معروف است بیشتر بعلت شرایط نامناسب در استخر هوادهی و بوجود آمدن لجن سبک وزن و متورم شده ای که اصطلاحاً بنام لجن و لخته های سوزنی Pin -Floc معروف است میباشدو عامل این امر رشد باکتریهای فیلمنتی (باکتریهائی که شبیه فیلامنت لامپ هستند) میباشد. کمبود اکسیژن و یا وجود مواد نامطلوب و مسموم ، بار آلی زیاد از حد در رشد و تکثیر این باکتری موثر است.

قابلیت ته نشینی لجن تحت شرایط عادی بستگی به نسبت F/M نیز دارد. در سیستم هوادهی طولانی (E.A) بعلت زمان طولانی هوادهی میکربها معمولاً در یک حالت گرسنگی بسر برده و مواد غذائی را سریعاً جذب میکنند و براحتی لخته شده و ته نشین میشوند و در ضمن راندمان برداشت بی اودی نیز بسیار خوب است.

برعکس در سیستم های هوادهی با شدت زیاد(High Rate) بعلت زمان کوتاه هوادهی ، ته نشینی بسرعت انجام نمیگیرد و در نتیجه مواد معلق و شناور (SS) در پساب خروجی یافت میشوند که باعث بالارفتن BOD پساب خروجی میگردد.

اندکس حجم لجن

بمنظور مشخص نمودن کیفیت ته نشینی لجن از پارامتری بنام اندکس حجم لجن استفاده میشود. این پارامتری است برای کنترل طرز عمل سیستم هوادهی . برای بدست آوردن این اندکس ابتدا MLSS (غلظت مواد معلق و شناور در مایع مخلوط) را مخاسبه نموده سپس یک لیتر از مایع مخلوط را در یک استوانه ۱ لیتری ریخته و پس از ۳۰ دقیقه حجم لجن ته نشین شده در این استوانه مدرج (V) اندازه گیری میشود. اندکس حجم لجن از رابطه زیر محاسبه میشود .

$$S.V.I = \text{Sludge Volume Index} = 1000 \times V / MLSS$$

V = حجم لجن ته نشین شده در استوانه ۱ لیتری پس از ۳۰ دقیقه (میلی لیتر در لیتر)

1000 = ضریب تبدیل میلی گرم در گرم

MLSS = غلظت مواد معلق و شناور در مایع مخلوط

در حقیقت اندکس حجم لجن ، حجمی است بر حسب میلی لیتر که یک گرم از موادمعلق (وزن خشک) اختیار کرده اند.

معمولاً اندکس حجم لجن 150 - 50 ⇒ SVI میلی لیتر بر گرم نشان دهنده لجنی است که قابلیت ته نشینی خوبی دارد.

مثال : اندکس حجم لجن استخر هوادهی را محاسبه کنید در حالیکه غلظت MLSS = 4000 mg/l میباشد و ۱ لیتر مایع مخلوط پس از ۳۰ دقیقه باعث ته نشینی ۲۰۰ میلی لیتر لجن میگردد..

$$SVI = 1000 \times 200 / 4000 = 50$$

با توجه به SVI محاسبه شده ، این لجن ته نشینی مناسبی دارد .

روشهای هوادهی

یکی از مهمترین عوامل طراحی در سیستمهای لجن فعال روش هوادهی فاضلاب یا انتقال اکسیژن به فاضلاب میباشد.
معمولاً هوادهی به دو صورت انجام میگیرد : هوادهی سطحی و هوادهی عمقی (هوادمی یا دمیدن هوا بداخل فاضلاب با استفاده از هوای فشرده) .

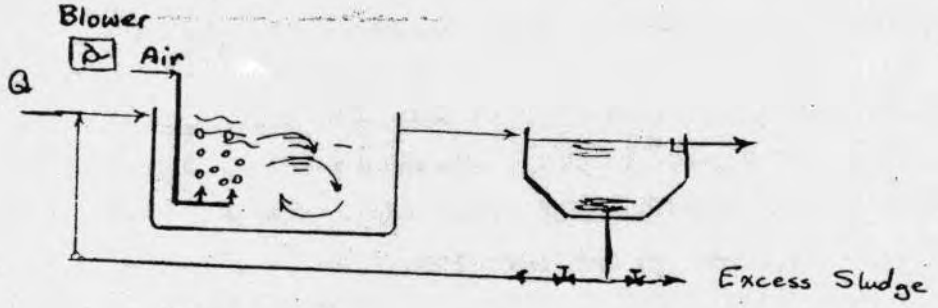
هوادهی سطحی توسط ایجاد اغتشاش در سطح آب بوسیله مخلوط کن هائی (میکسر) که به آنها در این صنعت اریتور (Aerator) گفته میشود صورت میگیرد. سرعت دوران پروانه اریتورها در حدود ۳۰ الی ۱۰۰ دور در دقیقه و قطر آنها نیز تابع قدرت و میزان اکسیژن دهی آنهاست. بعنوان مثال معمولاً هوادهی با قدرت ۱۱ کیلووات دارای پروانه ای بقطر ۱۳۰ سانتی متر و سرعت دوران حدوداً ۷۰ ۶۰ دور در دقیقه است و تحت این مشخصات هواده قابلیت انتقال حدوداً ۲۵ کیلوگرم اکسیژن در ساعت به آب در شرایط استاندارد را داراست (که این رقم برای شرایط معمول فاضلاب به نصف و یا کمتر تقلیل پیدا میکند).

در شرایط استاندارد (آب تمیز و فشار اتمسفریک و دمای ۲۰ درجه) میزان اکسیژن دهی یک هوادهٔ سطحی در حدود ۲/۲ الی ۲/۸ کیلوگرم اکسیژن بازاء هر کیلووات انرژی میباشد.

نوعی هواده سطحی بنام هواده های " دور تند " نیز بکار برده میشوند که سرعت دوران پروانه ۷۰۰ الی ۱۴۵۰ دور در دقیقه ولی قطر پروانه بسیار کوچکتر میباشد.

هواده های عمقی هوا را از طریق دمیدن توسط دستگاه دمنده که بنام بلوئر (Blower) نامیده میشود و قابلیت انتقال حجم زیادی از هوا با فشار کم را داراست وارد آب میکنند. هوای وارد آب شده توسط سیستم "پخش کن " یا دیفیوزر (Diffuser) بصورت حباب در عمق آب پخش میگردد . هر چقدر حبابهای هوا بزرگتر باشند انتقال جرم با کیفیت ضغیف تری انجام میگیرد ولی در مقابل امکان انسداد منافذ کمتر خواهد بود ، در مقابل دیفیوزرهائی که قابلیت ایجاد حبابهای ریز هوا را دارا هستند ، انتقال جرم بسیار موثرتری را ایجاد میکنند ولی بعلت ریز بودن منافذ خروج هوا امکان انسداد منافذ و نیاز به تمیز کردن مداوم منافذ یک امتیاز بسیار منفی محسوب میگردد.

بلوئرها نیز دارای انواع مختلف میباشند ، (از جمله نوع سانتریفیوژ ...) و معمولاً قابلیت انتقال حدوداً از ۴۰ الی ۶۰۰۰ متر مکعب هوا در دقیقه بافشار حدوداً ۰/۴ الی ۰/۸ بار را دارا هستند.



هوادهی عمقی - هوادهی حبابی

Diffused Aeration

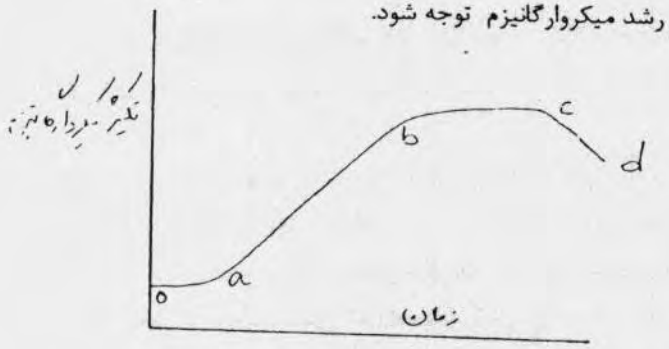
روشهای مختلف فرایند لجن فعال

روشهای مختلفی برای بکار بستن فرایند لجن فعال وجود دارند . این روشها تابع عوامل متعددی هستند که شامل زمان هوادهی و یا نوع سیستم هیدرولیکی (رژیم جریان عبوری) و یا نحوه تماس میکروارگانیزم با هوا و یا با فاضلاب ورودی میباشد.
اگرچه روشهای گوناگونی برای فرایند لجن فعال تعریف شده اند ولی مهمترین این روشها عبارتند از :

- روش هوادهی طولانی شده (Extended Aeration) یا "هوادهی ممتد" که در این روش زمان هوادهی معمولا" طولانی است.
- روش هوادهی متعارف یا (Conventional)
- روش مرحله ای یا (Step Aeration)
- روش هوادهی کاهشی (Tappered Aeration)
- روش کاملا" مخلوط (Complete Mix)
- روش تثبیت در اثر تماس (Contact Stabilisation)

سایر روشهائی که بعضا" تحت نامهای متفرقه و یاتجارتی ارائه میشوند که در غالب روشهای فوق نیز قابل توجیه میباشند.

برای درک برخی از تفاوتهای روشهای فوق بهتر است به منحنی رشد میکروارگانیزم توجه شود.



o - a زمان عادت کردن
a - b رشد هندسی
b - c رحله تثبیت
c - d رحله مرگ - خودخوری !

در این شکل برخی از مراحل را بطور کلی میتوان متمایز از مراحل دیگر فرض نمود :
o→a زمان لازم برای هماهنگی و عادت میکروارگانیزم نسبت به پساب جدید میباشد(گاهی این زمان بحداقل یعنی تقریبا" صفر میرسد)
a-b) زمانی است که میکروراگانیزمها بسرعت رشد میکنند و مواد آلی در فاضلاب به مقدار زیادیافت میشود. در این پریود میکروارگانیزمها دارای رشد هندسی (لگاریتمی) هستند.
b-c) زمانی است که رشد میکروارگانیزمها بعلت مصرف شدن مواد غذائی فاضلاب (کمبود غذا) و اکسیژن کاهش پیدا میکند.
c-d) زمانی است که میکروارگانیزم بعلت نبودن غذا خود بخود اکسید شده و از بین میروند.

بنابراین روش هوادهی فاضلاب (فزایند لجن فعال) با توجه به منحنی فوق قابل تفسیر میگردد . در روش هوادهی طولانی منحنی از مسیر a→c استفاده میکند و بنابراین زمان هوادهی طولانی و مقدار لجن ایجاد شده کم و نوع لجن تقریبا" پایدار است. در حالیکه در فرایند تثبیت در اثر تماس فقط قسمت کوچکی از a→b منحنی مورد استفاده قرار میگیرد در نتیجه در زمانی کوتاه مقدار قابل توجهی میکروارگانیزم تولید میگردد (لجن زیادی تولید میشود.
در سایر فرایندها نیز بهمین صورت از تفسیر این منحنی میتوان نتیجه گیری نمود.
در جدول های ضمیمه برخی از پارامترهای مختلف در روشهای محتلف فرایند لجن فعال قید شده اند.

همچنین در شکل ضمیمه اصول و تفاوتهای کلی در نحوه اکسیژن رسانی به فاضلاب توسط روشهای مختلف نشان داده شده اند.

برای آشنائی بیشتر چند روش متداولتر شرح داده میشوند :

هوادهی طولانی EXTENDED AERATION

روشی ایده ال برای سیستم لجن فعال مورد استفاده در تصفیه خانه های کوچک مثل شهرک ها : مجتمع ها ، و سیستمهای پیش ساخته میباشد. همچنین مناسبترین روش لجن فعال برای فاضلابهای صنعتی محسوب میگردد.

در این روش برای هوادهی فاضلاب ، از هوادم های عمقی (بلوئر) و یا هواده های سطحی استفاده میشود.

زمان توقف فاضلاب در استخر هوادهی یا پریود هوادهی 30-24 ساعت ، بار آلی وارد بر سیستم در حدود ۰/۲۵ کیلوگرم بی او دی به ازاء هر متر مکعب حجم استخر هوادهی و نسبت F/M در محدوده ۰/۰۵ الی ۰/۱۵ در روز در نظر گرفته میشود.

نوعی از این روش بنام کانال اکسیداسیون (Oxidation Ditch) معروف است که در آن استخر هوادهی بصورت بیضی شکل و هواده ها عموماً از نوع " برسی " بکار برده میشوند.

سیستم متعارف - عادی - Conventional

در این سیستم زمان هوادهی معمولاً در حدود ۶ الی ۸ ساعت در نظر گرفته میشود.

حرکت سیال (فاضلاب) بصورت نهر گونه (Plug Flow) - یا جریان پیستونی - و میزان تولید لجن نیز متوسط است.

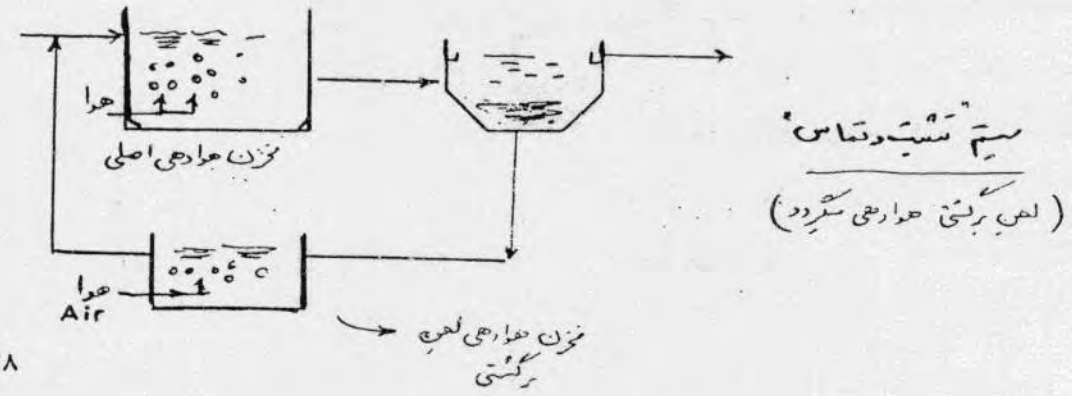
سیستم متعارف معمولاً برای تصفیه خانه شهرهای بزرگ توصیه میشود. نگهداری این سیستم بیش از سیستم هوادهی طولانی است.

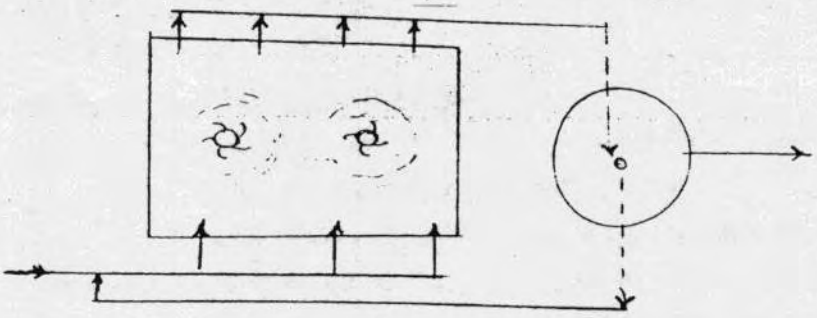
سیستم متعارف از نظر بسیاری از پارامترهای طراحی مشابه فرایندهای مرحله ای و یا هوادهی تدریجی است.

سیستم تثبیت در اثر تماس - Contact Stabilisation

در این روش زمان هوادهی در استخر هوادهی درحدود ۱ الی ۱/۵ ساعت میباشد و فرض براین است که در این مدت میکروارگانیزم موادآلی را جذب میکند ولی فرصت مصرف آنرا پیدا نمیکند. این مصرف در مرحله بعدی یا در مخزن هوادهی لجن ،که در این مرحله نیز لجن بمدت ۰/۵ الی ۱ ساعت هوادهی میشود صورت میگیرد.

این فرایند کمتر مورد استفاده واقع میشود. نگهداری فرایند فوق العاده مشکل و بسیار آسیب پذیر است.

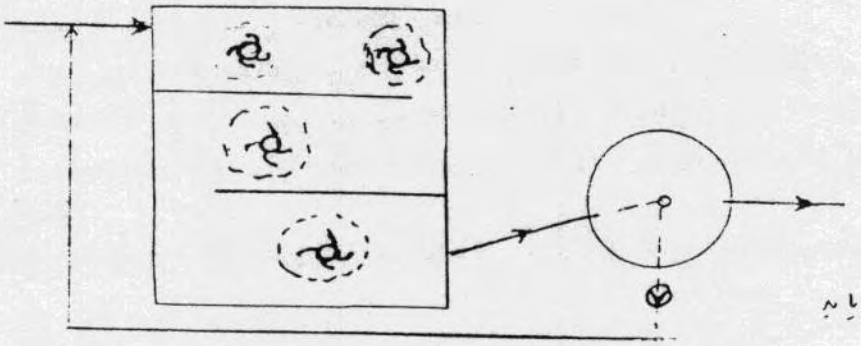




سیستم کاملاً مخلوط

Complete Mix

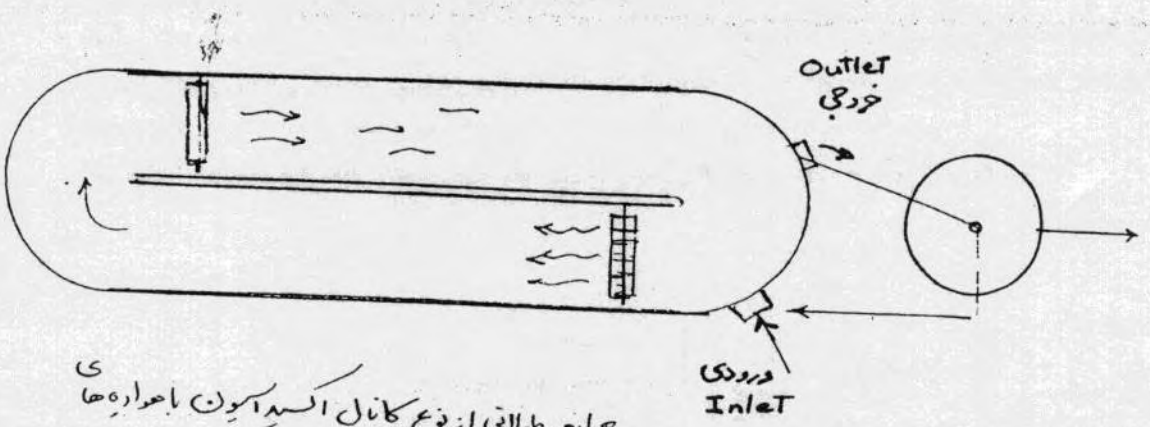
جریان ورودی و خروجی در تمام
مخزن یکنواخت است.



سیستم هوادهی پله‌ای

Step Aeration

مقدار هوا شروع در طول
مسیر حرکت تا حدی کاهش می‌یابد



هوادهی طولانی از نوع کانال اکسیداسیون با هواده‌های
Brush Type Aerators نوع برسی

(هوادهی طولانی با جریان P-F - نهرگونه -

جدول شماره ۱ - پارامترهای مختلف طراحی در سیستم های لجن فعال

پروسس	بار آلی کیلوگرم BOD در روز در مترمکعب	F/M کیلوگرم BOD در روز بر کیلوگرم MLSS	زمان هوادهی ساعت	میزان بازگشت لجن ٪	راندمان برداشت BOD %
هوادهی طولانی E.A	0.16 - 0.48	0.05 - 2.0	20 -30	100	85 - 95
عادی Conventianl	0.48 - 0.64	0.2 -0.5	6.0-7.5	30	90-95
هوادهی از نوع مرحله ای Step Aeration	0.48 -0.80	0.2-0.5	5.0-7.0	50	85-95
هوادهی ار نوع تثبیت تماس Contact Stabilization	0.48-0.8	0.2-0.5	6.0-9.0	100	80-85
هوادهی با شدت زیاد - پر بار یا High Rate	>1.28	0.5 -1.0	2.5 -3.5	100	80-85
هوادهی با اکسیژن خالص	>1.8	0.6-1.5	1.0-3.0	50	90-95
کاملاً مخلوط Complete Mix	۰.۴ - ۰.۸	۰.۳ - ۰.۶	4-6	50	90

جدول ۲- طراحی سیستم های لجن فعال شده

نوع سیستم	بار سطحی	F/M (kgBOD:kg Mlss)	زمان توقف (ساعت)	زمان توقف سلولی (روز)	درصد بازگشت لجن Q_R/Q	مقدار هوای مورد نیاز m3/kgBOD
هوادهی ممتد Extended Aeration	-0.25 0.3	0.05-0.20	16-48	10-30	0.5 - 1.00	90 - 125
سیستم متعارف Conventional	0.56	0.20-0.50	6-8	4-14	0.15-0.30	45-90
سیستم مرحله ای Step Aeration	0.80	0.20-0.50	5-8	4-14	0.2-0.50	45-90
سیستم کاهش تدریجی Tappered Aeration	0.56	0.20-0.50	5-8	4-14	0.15-0.30	45-90
سیستم تثبیت و تماس Contact Stabilization	1.-12	0.20-0.50	0.5-4	4-14	0.5-1.0	-90-100

استخراج از کتاب Steel & McGbee Water Supply & Sewerage

طراحی سیستم لجن فعال

روشهای مختلفی برای طراحی سیستم لجن بکار برده میشود ولی مناسبترین روشی که ارائه شده و بر مبنای موازنه جرم در بیوراکتور در شرایط کاملاً مخلوط میباشد عبارتست از :

$$X = \frac{\Theta c.\ Y.\ (C_0 - C)}{\Theta.\ (1 + kd.\ \Theta c)}$$

در این رابطه

- غلظت میکروارگانیزم در استخر هوادهی بر حسب mg /l — X = MLVSS
- زمان ماند سلولی - بر حسب روز — θc =
- زمان ماند هیدرولیکی — θ = V/Q
- ثابت مرگ میکروارگانیزم (روز) ۱- — kd =
- غلظت BOD ورودی بر حسب mg/l — C_0 =
- غلظت BOD خروجی بر حسب mg/l — C =

در این رابطه چنانچه مقدار x و θc (معمولاً در حدود ۳۰ -۱۰ روز) و $kd \approx 0.04 - 0.075$ فرض شود، مقدار θ (زمان هوادهی) بدست می آید که متعاقباً حجم استخر هوادهی تعیین میشود.

رابطه فوق بیشتر برای طراحی تصفیه خانه های شهری بکار برده میشود .

۲- روش دوم استفاده از جداول و بارگذاری سیستم است. بعنوان مثال با فرض کردن نسبت F/M و بار گذاری استخر هوادهی از نظر بار آلی و بار هیدرولیکی مشخصات استخر هوادهی را میتوان تعیین نمود.
برای استفاده از این روش از جداول و پارامترهای قید شده در این جداول باید استفاده شود.

۳- روش سوم با فرض آنکه تجزیه مواد آلی در استخر هوادهی در حالیکه غلظت BOD>300 mg/l است واکنشی از درجه صفر و چنانچه BOD<300 mg/l باشد واکنشی از درجه ۱ محسوب میگردد انجام میگیرد. این رابطه بشکل های مختلفی نشان داده میشود . از جمله :

$$Lr - = \frac{k1.\ X.\ t}{a}$$

- Lr = بی اودی حذف شده
- k1 = ضریب ثابت (بیولوژیکی)
- t1 = زمان ماند (ساعت)
- X = میزان متوسط غلظت لجن (حدوداً ۲۵۰۰ میلیگرم در لیتر)
- a = مقدار بی اودی که به سلولهای (باکتریها) جدید تبدیل شده (۰/۵ تا ۰/۶)

برای BOD < 300 : رابطه فوق بصورت لگاریتمی خواهدبود:

$$\frac{Ce}{C_0} = e^{-k_2 .\ X.\ t2}$$

$$\frac{Ce}{Co} = e^{-k2 \times tz}$$

Ce = غلظت بی اودی در پساب تصفیه شده - mg/l

Co = غلظت بی اودی در پساب خام (ورودی)

k2 = ضریب بیولوژیکی

X = غلظت متوسط لجن

t 2 = زمان واکنش (هوادهی) برحسب ساعت

باین ترتیب مجموع زمان هوادهی برای فاضلابی که دارای غلظت بیش از ۳۰۰ میلیگرم در لیتر است معادل $t1 + t2$ میگردد و باین ترتیب حجم استخر هوادهی را میتوان محاسبه نمود.

$\theta = V/Q = t1 + t2$

رابطه فوق کمتر در طراحی ها بکار برده میشود و لی در مطالعات کینتیکی تجزیه پذیری فاضلابها قابل استفاده میباشد.

و در تمام این روابط بازدهی حذف BOD یا راندمان استخر هوادهی برای کاهش بار آلی برابراست :

$$E = \text{BOD Removal efficiency} = \frac{BODin - BODout}{BODin}$$

مساله : غلظت مواد معلق مایع مخلوط (MLSS) در یک تانک هوادهی برابر است با 2400 mg/l و حجم لجن پس از ته نشین شدن در یک استوانه ۱ لیتری 220 mg میباشد. اندکس حجم لجن را محاسبه کنید و در مورد قابلیت ته نشینی آن اظهار نظر کنید ؟

اگر فرض شود این لجن ته نشین شده برابر است با نسبت جریان بازگشت داده شده ، شدت جریان بازگشت داده شده نسبت لجن بازگشتی و غلظت مواد معلق در آن را نیز محاسبه کنید :

MLSS = 2400 mg/l

V = 220 mg/l

SVI = (V . 1000)/ MLSS)

= 220 . 1000 / 2400 = 92 ml/gram

ته نشینی رضایتبخش است ، چون SVI <150 است.

مثال : در یک سیستم لجن فعال از نوع هوادهی طولانی شده ، بار آلی بمیزان 0.17 کیلوگرم BOD در مترمکعب در روز وارد استخر شده و زمان ماند متوسط ۲۴ ساعت است. میزان افزایش مواد معلق 30mg/l در روز میباشد. چه درصدی از فاضلاب خام تبدیل و بصورت MLSS در می آید ؟ برای آنکه غلظت از 1000 به 7000 mg/l برسد. چه زمانی لازم خواهد بود؟

بار آلی = 0.17 کیلوگرم بی او دی بازاء متر مکعب حجم استخر در روز

بی او دی ورودی بازائ هر متر مکعب حجم ← 170 گرم

افزایش روزانه مواد معلق - MLSS - 30 گرم

نسبت رشد مواد معلق به بی او دی ورودی ← 30/ 170 = 0.18 or 18 %

زمان لازم برای رسیدن به MLSS = 7000 ← روز (7000 - 1000) / 30 = 200

محاسبه مقدار هوا و اکسیژن مورد نیاز

محاسبه میزان اکسیژن مورد نیاز در سیستمهای لجن فعال از بخشهای اصلی طراحی این سیستم محسوب میشود. محاسبه مقدار هوا از چند روش امکان پذیر است از جمله به دو روش عمده زیر اشاره میشود.

از طریق تجربی : با استفاده از تجارب بدست آمده مقدار اکسیژن مورد نیاز در حدود ۱/۴ الی ۲ برابر مقدار بی اودی ورودی باستخر هوادهی است. این رقم برای فرایند هوادهی طولانی ۲ برابر و برای فرایندهای عادی و یا مرحله ای در حدود ۱/۵ برابر است.

مقدار هوا نیز طبق همین تجارب در حدود ۷۰ الی ۱۴۰ متر مکعب بازاء هر کیلو بی او دی در نظر گرفته میشود. البته این رقم بسیار تابع نوع دیفیوزر(پخش کن هوا) و راندمان انتقال جرم است ولی بهر صورت برای شرایط عادی از این داده ها میتوان استفاده نمود.

از طریق محاسباتی : با توجه باینکه همواره بخشی از مواد آلی ورودی تبدیل به میکروارگانیزم میشوند و بخشی از میکروگانیزمها نیز بعنوان لجن مازاد از استخر هوادهی خارج میگردند ، میزان هوا را میتوان باین شرح محاسبه نمود.

مقدار میکرو ارگانیزم تولید شده یا لجن مازاد (وزن خشک برحسب کیلوگرم) = $Px = Qw \cdot Xr$

مصرف اکسیژن لجنی که از سیستم خارج میشود عبارتست از :

$$C_5H_7NO_2 + 5\,O_2 \rightarrow 5CO_2 + 2H_2O + NH_3$$

113 5 . 32

1 gr cell = 1.42 gr O_2

مقدار اکسیژن مورد نیاز برای تجزیه مواد آلی (بی او دی کل ورودی) = $Q \cdot (BOD_{in} - BOD_{out}) \cdot 10^{-3} / f$

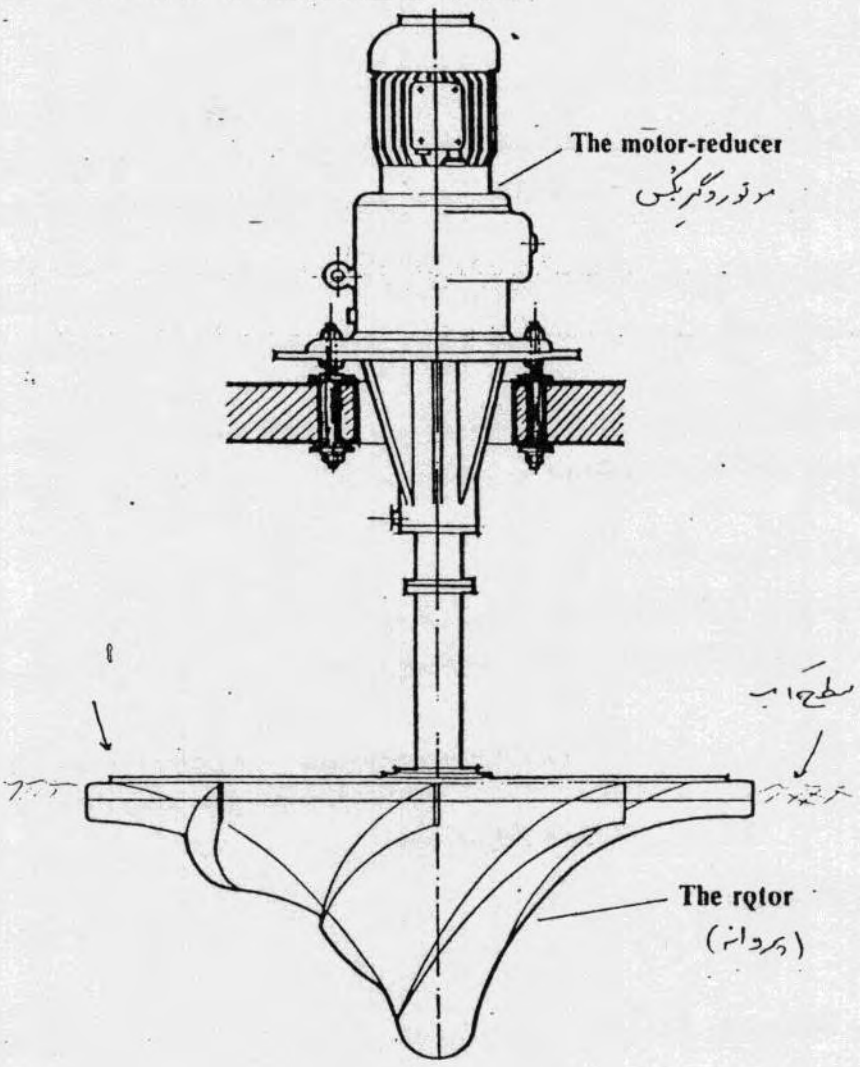
در این رابطه Q شدت جریان و f ضریب تبدیل بی اودی ۵ (BOD)5 به بی اودی نهائی (BOD)u است که معمولاً معادل ۰/۷ یا ۰/۶۸ میباشد .

در نتیجه مقدار اکسیژن مورد نیاز از این طریق محاسبه میشود.

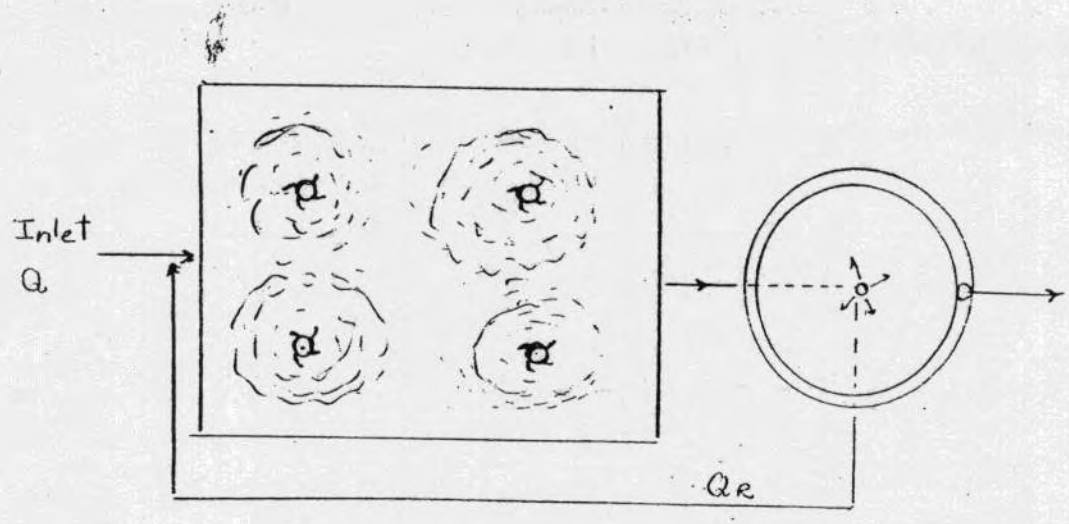
$$kg\ O_2 / day = [\ Q.\ (BODi - BODo).\ 10^{-3}\ ]/\ 0.68 - 1.42 \cdot Px$$

با توجه به محاسبه مقدار اکسیژن مورد نیاز قدرت هواده (سطحی یا عمقی) نیز قابل محاسبه میگردد.

به مثال های ضمیمه توجه شود.



کپ دستگاه هواده سطحی



نحوه استقرار هواده های سطحی و شعاع عمل آنها

سیستم لجن فعال با اکسیژن خالص

بدلیل نیاز به جابجائی حجم زیادی از هوا ، از اکسیژن خالص نیز در سیستمهای لجن فعال استفاده شده است. در این حالت افزایش حجم هوای مورد نیاز به استخر فاضلاب به حدود یک پنجم کاهش مییابد.

استفاده از اکسیژن خالص باعث میگردد که لجن بهتری در فرایند لجن فعال ایجاد گردد که از نظر خواص ته نشینی و بی آب سازی بهتر از لجنهای ایجاد شده در فرایند مرسوم با هواست و همچنین سیستم تزریق هوا بداخل فاضلاب نیر بسیار کوچکتر و با انرژی یک پنجم فعالیت خواهد نمود. ولی هزینه تولید اکسیژن بمراتب بیشتر از صرفه جونی انرژی فوق و مشکلات مربوط به تهیه اکسیژن نیز قابل تامل میباشد ، بنابراین اگرچه این فرایند از نظر تجارتی در بازار ارائه شده است ولی از نظر اقتصادی قابل رقابت با سیستمهای عادی نیست.

۱- یک تصفیه خانه فاضلاب با روش لجن فعال شده دارای مشخصات زیر میباشد:
شدت جریان ورودی به تصفیه خانه 28000 مترمکعب در روز ، حجم مخزن هوادهی 8496 مترمکعب ، غلظت کلیه مواد جامد (TS) 599 mg/l ، غلظت مواد معلق و جامد در فاضلاب ورودی 80 mg/l ، غلظت BOD 5 در فاضلاب ورودی 173 mg/l ، غلظت کلیه مواد جامد در پساب خروجی 496 mg/l ، غلظت مواد جامد و معلق در پساب خروجی 12 mg/l ، غلظت BOD در پساب خروجی 10 mg/l ، غلظت مواد معلق مایع مخلوط 2500 mg/l ، شدت جریان بازگشت داده شده 10000 متر مکعب در روز ، لجن دور ریخته شده 205 مترمکعب در روز . غلظت مواد معلق در لجن دور ریخته شده 9800 mg/l ، با استفاده از این اطلاعات محاسبه کنید :
پریود هوادهی ، بار الی BOD ، نسبت F/M ، بازده حذف BOD و مواد جامد ومعلق و کلیه مواد جامد را - عمر لجن BOD (زمان ماند سلولی) و میزان بازگشت لجن را .

Q	= 28000	m3/day.
V	= 8496	m3
TS_{in}	= 599	mg/l
BOD_{in}	= 173	mg/l
SS_{in}	= 80	mg/l
Sludge Waste	= 205	m3/day

TS out	= 497	mg/l
$BOD5_{out}$	= 10	: :
SS_{out}	= 12	mg/l
MLSS	= 2500	: :
Q_R	= 10 000	
$SS_{s.w}$	= 9800	mg/l

زمان توقف در تانک = پریود هوادهی

$$t = \frac{V}{Q} \times 24 = \frac{8496}{28000} = 7.2 \text{ hr}$$

$$L_{BOD} = \frac{Q \times BOD \times 10^{-3}}{V}$$

$$= \frac{28000 \times 173 \times 10^{-3}}{8496} = 0.56 \quad kg_{BOD}/m^3 . day$$

F/M = Food to Micro- Organism ratio

$$= \frac{BOD \times Q}{MLSS \times V} = \frac{173 \times 28000}{2500 \times 8496} = 0.23 \quad day^{-1}$$

$$E_{BOD} = \frac{173 - 10}{173} \times 100\% = \%\ 94.2$$

$$E_{TS} = \frac{599 - 497}{599} \times 100\% = \%\ 17$$

$$E_{ss} = \frac{80 - 12}{80} \times 100\% = \%\,85$$

$$\text{زمان ماند سلولی} = \frac{\text{کیلوگرم MLSS در تانک هوادهی}}{\text{کیلوگرم مواد معلق و جامد در پساب خروجی} + \text{کیلوگرم مواد جامد معلق در لجن دور ریخته شده}}$$

$$= \frac{8496 \times 2500}{205 \times 9800 + 28000 \times 12} = 9.06 \quad \text{روز}$$

$$\text{میزان بازگشت} \Longrightarrow R = \frac{QR}{Q} = \frac{10000}{28000} = \%\,35.7$$

۳ - برای انتقال ۱۰۰۰ کیلوگرم اکسیژن در روز از سیستم هوادمی عمقی استفاده میشود. درجه حرارت ورودی 30 C ، فشار خروجی ، 5m و راندمان دستگاه ۷۵ درصد است . توان بلوئرهای مورد نیاز را حساب کنید؟

راندمان انتقال جرم 0.007 است .

$$P = \frac{W.R.T}{8.41 .E}\left[\left(\frac{P2}{P1}\right)^{0.283} - 1\right]$$

P = Power , KW

T = K = (273 + 30) دما

P1 = فشار مطلق ورودی

E = 0.6 - 0.8 راندمان دستگاه

R = 8.314 عدد ثابت گاز

W = وزن هوا کیلوگرم در ثانیه

P2 = فشار مطلق خروجی

با فرض آنکه معمولاً راندمان انتقال اکسیژن به آب در حدود ۷ در صد است. و با در نظر گرفتن در صد وزنی اکسیژن در هوا (۰/۲۳ در صد).

1000

$$*\text{kg } O_2 \text{ per day} = \frac{1000}{0.07} = 14{,}286 \quad \text{kg /day}$$ اکسیژن مورد نیاز

$$\text{kg Air per day} = \frac{14286}{0.232} = 61578 \quad \text{kg /day}$$ هوای مورد نیاز

$$P = \frac{(61578/(24 \times 3600)) \times 8.314 \times 303}{(8.41) \times (0.75)} \left[\left(\frac{1.58}{1.0} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

P = 39.2 KW

5 m هد آب + امتر افت فشار = ۶ متر یا معادل ۱/۵۸ اتمسفر فشار مورد نیـاز در خروجی بلوئـر در نظر گرفته شده است).

****

لاگون یا برکه تصفیه Lagoon - Stabilisation Ponds

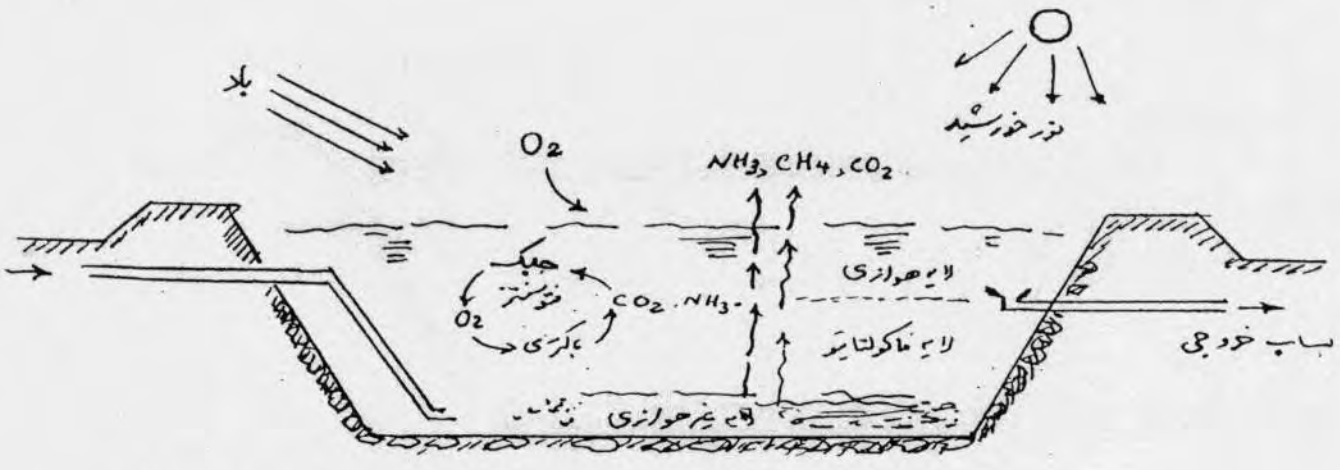
" لاگون " که معادل فارسی آن مرداب یا برکه میباشد استخر بزرگی است که فاضلاب را برای مدتی نسبتاً طولانی در خود نگه داشته و در طول این مدت فرایند تصفیه بیولوژیکی در آن صورت میپذیرد.
به این سیستم برکه تثبیت (Stabilisation Pond) و برکه اکسیداسیون (Oxidation Pond) نیز گفته میشود.
در بسیاری از موارد که " برکه " برای تصفیه بیولوژیکی یعنی تصفیه مرحله دوم مورد استفاده قرار میگیرد فاضلاب را میتوان بدون غربال شدن ، شن گیری (دانه گیری) و یا ته نشینی مقدماتی وارد این استخرها نمود و فاضلاب خروجی از تصفیه خانه نیز، فقط پس از برکه از مخزن ته نشینی نهائی عبور میکند(و یا آنکه آخرین برکه بعنوان زلال کننده مورد استفاده واقع شده) و سپس به آبهای روان پیوسته و یا به مصرف آبیاری میرسد.
بیش از ۴۰۰۰ برکه تثبیت در امریکا برای تصفیه فاضلاب وجود دارد ولی این تعداد فقط ۱۰ درصد از مردم را در آن کشور سرویس میدهند و در ایران نیز اخیراً برای شهرهائی مثل اراک و سمنان سیستم برکه ای در نظر گرفته شده است.

لاگونها را بنا به نوع فعل و انفعالات بیولوژیکی که در آنها اتفاق می افتد ، نام گذاری کرده اند که عبارتند از :
برکه فاکولتاتیو و یا مختلط - برکه هوازی - برکه غیرهوازی - برکه زلال سازی

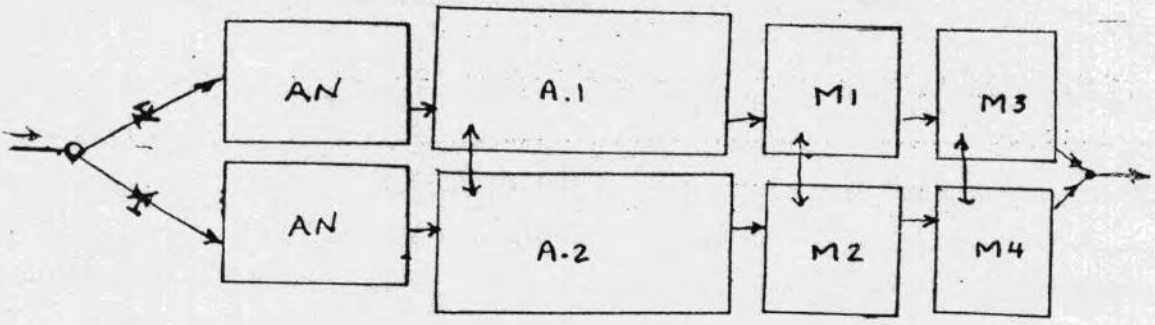
۱- استخرهای فاکولتاتیو (Facultative) و یا مختلط (و یا اختیاری)

این برکه اصلی ترین و طبیعی ترین نوع لاگون میباشد که قرنهاست برای تصفیه فاضلاب بکار برده شده است.
عمق فاضلاب که در این برکه معمولاً در حدود ۱/۵ الی ۲ مترمیباشد بتدریج به سه لایه مختلف تفکیک میشود:

۱: لایه ای سطحی که در تماس با هوا است . در این لایه نفوذ اکسیژن و نور خورشید قابل ملاحظه میباشد و لذا لایه ای هوازی تشکیل میگردد . باکتریهای آب در این ناحیه مواد آلی را تجزیه و گاز اکسیژن را مصرف و گاز دی اکسید کربن (CO_2) تولید میکنند. جلبک ها و خزه ها ی شناور در این لایه با استفاده از نور خورشید و مواد مغذی داخل آب (بخصوص ازت و فسفر) و گاز کربنیک (CO_2) تولید شده توسط سایر باکتریها تکثیر گشته و گاز O_2 (اکسیژن) رها می سازند و خود طعمه سایر جانوران میشوند (به این چرخش طبیعی SYMBIOSIS گفته میشود.) .

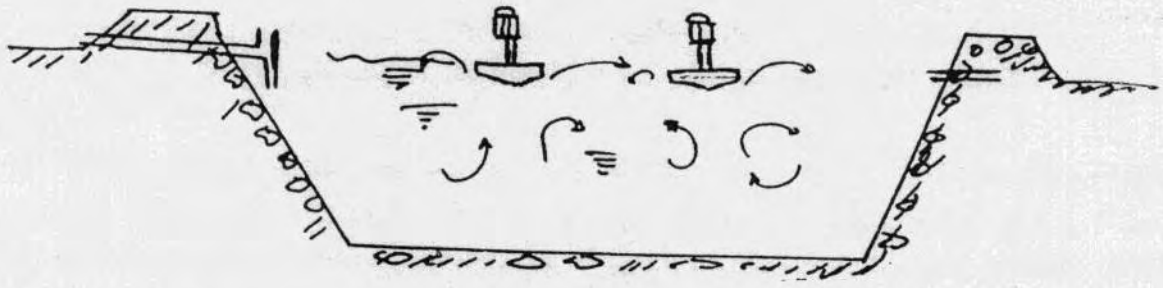


"Symbiosis" برکه تثبیت و چرخه سمبیوسیس

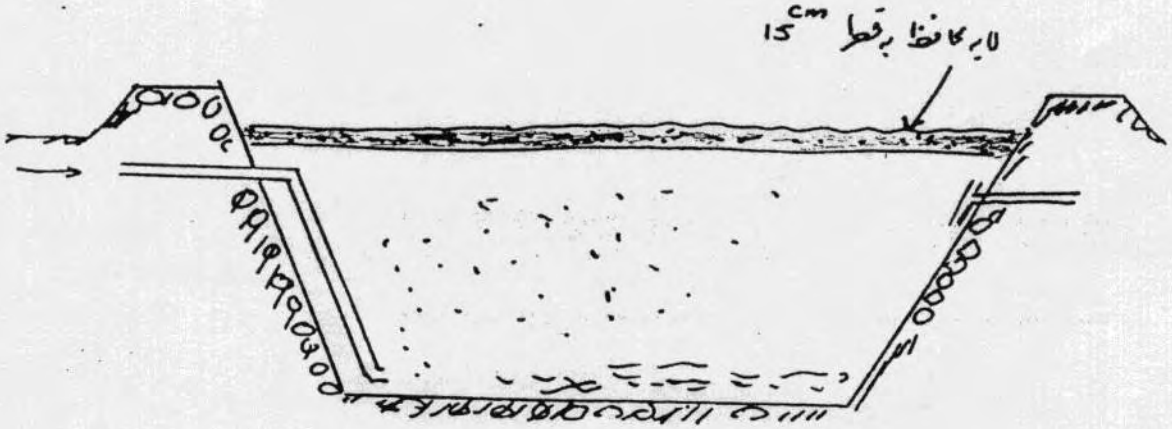


نحوه استقرار لاگون ها

AN - نیروگاه ، A1 و A2 ناکوتاتیو ، M1 و ... M4 بردهای هوازی زلاساز



بردهای هوازی با هواده سطحی (مکانیکی)



برده غیر هوازی

مثلاً حدود $10^5 - 10^7$ کالیفرم در هر ۱۰۰ میلی لیتر فاضلاب خروجی از واحد تصفیه بیولوژیکی وجود دارد در حالیکه این تعداد در پساب تصفیه شده نباید از حدود ۲۰۰ کالیفرم در هر ۱۰۰ میلی لیتر تجاوز نماید. در نتیجه برای کاهش تعداد میکروارگانیزمها و ضد عفونی نمودن این پساب از مواد ضد عفونی کننده بخوص از کلر استفاده میکنند.

کلربصورت گاز کلر و یا بصورت پودر املاح اسید هیپوکلریت HOCl مثل پودر هیپوکلرایت کلسیم $Ca(OCl)_2$ که میتواند دارای ۷۰٪ درصد کلر فعال باشد و یا بصورت مایع هیپوکلرایت سدیم NaOCl (که ۱۵ - ۵ ٪ کلر دارد) مصرف میشود. این مواد در آب تشکیل یون هیپوکلرایت را میدهند که عامل ضد عفونی کننده میباشد:

$$Ca(OCl)_2 + H_2O \rightarrow Ca^{++} + 2\,OCl^- + H_2O$$

اسید هیپوکلروس و یا یون هیپوکلرایت که به اسم "کلرین آزاد" معروف است در ابتدا با آمونیاک و مواد ازته آب ترکیب شده ترکیبات مختلف از جمله مونوکلرامین و ... میدهد:

$$HOCl + NH_3 \rightarrow H_2O + NH_2Cl$$
$$Cl2 + 2\,NH_3 \rightarrow N_2 + 6\,HCl$$

در نتیجه یون هیپوکلروس که عامل اصلی ضدعفونی کنندگی است، قبل از اینکه بمصرف ضد عفونی کردن و کشتن باکتریها برسد ابتدا مواد ازته آب را خنثی می نماید. در نتیجه مقداری از کلر قابل قابل استفاده نخواهد بود و باید مقدار کلر اضافه شده در آب را افزایش داد تا کلر آزاد (یون هیپوکلرایت) در پساب (یا آب) بوجود آید. با افزایش مقدار این کلر (یا این هیپو کلریت) کلرآمینها تجزیه شده و گاز ازت از محیط خارج میگردد

با توجه به منحنی پیوست که به منحنی کلریناسیون تا نقطه شکست معروف است، مقدار کلر لازم برای ضد عفونی کردن آب طوری تنظیم میگردد که مقدار کلر باقیمانده در آب از نقطه بحرانی بیشتر گردد. این مقدار با توجه به کیفیت فاضلاب و نوع فاضلاب برای پسابهای مختلف متفاوت میباشد.

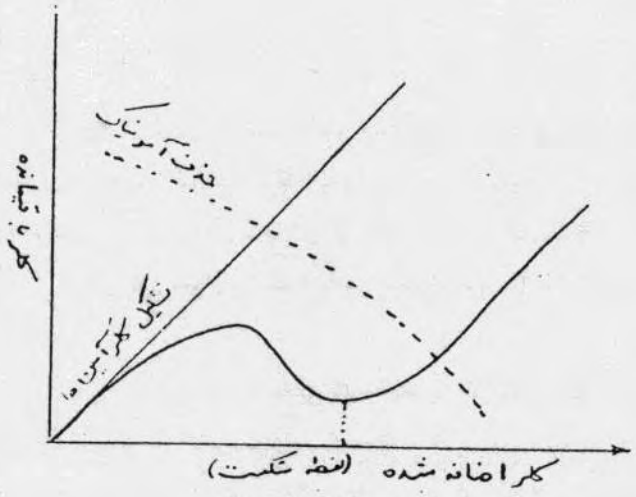
عامل مهم در کلرینه کردن پساب زمان تماس یا زمان توقف (زمان لازم برای مخلوط شدن و عمل کردن کامل کلر در پساب) میباشد که باید حدود ۳۰ دقیقه باشد.

در صورتیکه این زمان رعایت نگردد احتمال ضد عفونی شدن ناقص وجود دارد. میزان دقیق کلر نیز بسیار مهم است چون کمتر از حد لازم باعث احیاء میکروارگانیزمها در زمانی اندک خواهد شد و بیشتر از حد لازم نیز امکان از بین بردن ماهیها و موجودات زنده رودخانه ها و آبهای روان دریافت کننده پساب را بوجود خواهد آورد. در هر صورت چون هدف در ضد عفونی کردن از بین بردن باکتریهای خطرناک و نه از بین بردن تمام باکتریهاست. غالباً سعی بر آنست که کلر باقیمانده از 0.5 mg/l چندان بیشتر نباشد و هرگاه از حد بیشتر کلر مصرف شود برای خنثی نمودن آن از SO_2 و یا بعضی از املاح سدیم استفاده میشود. بطور کلی مقدار کلر لازم برای ضد عفونی کردن فاضلاب تصفیه شده در حدود ۵ الی ۱۰ گرم برای هر متر مکعب فاضلاب تصفیه شده و زمان تماس یا زمان توقف لازم برای این عمل بین ۳۰ - ۲۰ دقیقه باید در نظر گرفته شود

در سالهای اخیر نقش مضر کلر نیز مورد توجه قرار گرفته است. کلر با بعضی از مواد آلی موجود در فاضلاب ترکیب شده و ترکیباتی را ایجاد میکند که بنام تری هالو متانها معروف میباشند . .T.H.M ها ترکیباتی هستند سرطانزا که در لیست ترکیبات خطرناک قید میگردند. از این جهت در مورد کلر زنی فاضلاب تصفیه شده استانداردهای گوناگونی در کشورهای مختلف اعمال میگردد و در بعضی از کشورها کلرزنی را توصیه نمیکنند.

استفاده از گاز ازن (O3) برای فاضلاب تصفیه شده نیز مطرح میباشد. ولی علاوه بر هزینه بسیار زیاد (در مقایسه با کلرزنی) ازن نیز همانند کلر دارای ترکیبات ثانویه و خطرناکی است که کاربرد آنرا برای این منظور دچار تردید نموده است.

از اشعه ماوراء بنفش (UV) نیز برای ضد عفونی کردن فاضلاب میتوان استفاده نمود و کاربرد این تکنیک در حال حاضر رو به گسترش میباشد ولی اصولاً علاوه بر هزینه زیاد تر دارای کارآئی کلر نمیباشد.



منحنی "نقطه شکست" در کلرزنی فاضلاب
Breakpoint Chlorination

تصفیه لجن Sludge Treatment

هدف کلی از تصفیه آبهای آلوده (فاضلابها) جدا سازی مواد جامد محلول و نا محلول از آب میباشد. معمولا مواد جامد نا محلول بصورت ته نشین کردن و یا برداشت مواد شناور از طریق شناورسازی صورت میپذیرد . مواد آلی محلول نیز توسط میکرو ارگانیزمها تجزیه و بخش عمده ای تبدیل به سلولهای میکربی جدید میشوند که بصورت لجن اضافی در ته نشینی نهائی از فاضلاب جدا میشوند.

در حقیقت تصفیه فاضلاب بطور عمده مربوط به جدا سازی مواد اضافی از آب میشود.

باین ترتیب در تصفیه فاضلاب مقدار زیادی جامدات (لجن) تولید میشود که همان مواد ته نشین شده میباشند و این مواد باید به یکی از طریق سوزاندن - کودکردن (کمپوست کردن) - و یا دفن کردن دفع شوند.

بطود کلی ضایعات ناشی از تصفیه فاصلاب را به صورت زیر میتوان تقسیم بندی نمود:

۱- جامداتی که در مرحله آشغالگیری از فاضلاب جدا میشوند و بصورت زباله باید دفع شوند.

۲- دانه ها و شن و جامدات سنگینی که در مرحله دانه گیری ته نشین میشوند و همراه با زباله دفع میشوند.

۳-لجن ته نشین شده که از قسمت تحتانی ته نشین کننده های اولیه خارج میگردد و معمولا" ۶۰ در صد از جامدات شناور در فاضلاب است و به آن " لجن خام اولیه " گفته میشود.

۴- لجن مازاد ناشی از بخش بیولوژیکی که در حقیقت سلولها و میکروارگانیزمهای اضافی تولید شده میباشد و معمولا" از مخزن ته نشینی بیولوژیکی تخلیه میگردد.

۵- در بعضی از تصفیه خانه ها که دارای سیستم آهک زنی (برای زلال سازی و یا حذف فسفاتها) میباشند لجنی ایجاد میگردد که به آن لجن شیمیائی گفته میشود.

باتوجه باینکه موارد ۱ و۲ بصورت زباله دفع میشود و مورد شماره ۵ نیز دارای ماهیت متفاوتی بوده و در تصفیه خانه های عادی وجود ندارد ،معمولا" لجن اولیه و لجن مازاد بیولوژیکی بعنوان لجنهای قابل دفع در تصفیه خانه ها وجود دارند که باید بنحو مناسبی جمع آوری ، تثبیت و سپس دفع گردند.

از هر ۲۰۰ لیتر فاضلابی که وارد تصفیه خانه میشود حدود ۳-۱ لیتر لجن بدست می آید که درصد رطوبت این لجن ۹۸ - ۹۵ ٪ میباشد . (یعنی درصد مواد جامد ۵ - ۲ ٪ است) وباید تصفیه (تثبیت) و سپس بهر نحوی که ممکن است از محوطه تصفیه خانه خارج گردد در غیر اینصورت موجب بروز انواع اشکالات و خطرات میگردد. اشکال عمده دفع لجن بصورت خام و هضم نشده بشرح زیر است .

۱: دیرخشک شدن و در نتیجه دارای حجم بسیار زیادی بودن جهت حمل و نقل و غیره.

۲: خاصیت آلایندگی شدید و ایجادبوی تعفن در مجاورت هوا (بعلت فعالیت باکتریهای غیرهوازی).

۳: ایجاد محیط غیربهداشتی بعلت وجود انواع کرم ها و حشرات و بوجود آوردن محل مناسبی برای تخم گذاری پشه و مگس.

۴: کمی خاصیت باروری اگر بمنظور کشاورزی قرار است برسد.

با توجه به کیفیت لجن تولید شده در تصفیه خانه ها ، هزینه دفع لجن قابل ملاحظه و بسیار زیاد است ، بطوریکه مجموعه واحدهای مربوط به تصفیه و دفع لجن حدود ۱/۳ الی یک پنجم کل هزینه های اجرائی تصفیه خانه را شامل میشود.

لجن بدست آمده درمراحل و واحدهای مختلف تصفیه خانه از نظر مواد موجود و کیفیت متفاوت میباشد مثلا لجنی که در مخازن ته نشینی اولیه ته نشین میشود (لجن خام) دارای مقداری مواد معدنی و مواد آلی لخته ای میباشد بطوریکه بخوبی قابل ته نشین شدن بوده و بسادگی تغلیظ میشود. (درصد رطوبت خود را از دست میدهد.)

مقدار لجن تولید شده در مخازن ته نشینی مقدماتی را از رابطه زیر میتوان محاسبه نمود.

$$W_p = f \times .S.S. \times Q \times 10^{-3}$$

W = وزن لجن بدست آمده (کیلوگرم مواد جامد در روز)

f = ضریب مواد معلق قابل ته نشین شدن در تانک مقدماتی (حدود 0.6 - 0.3 برای فاضلاب شهری)

SS = غلظت مواد معلق و شناور در پساب خام (میلی گرم در لیتر ppm or mg/l)

Q = شدت جریان روزانه (مترمکعب در روز)

لجنی که از استخرهای هوادهی و فیلتر بیولوژیکی بوجود می آید ، بدلیل آنکه تحت شرایط هوازی قرارداشته از لحاظ تعفن اشکال زیادی ایجاد نمیکند (یا اشکال کمتری ایجاد میکند) ، ولی بخصوص لجن بدست آمده از استخرهای لجن فعال بسادگی لجن خام آب خود را از دست نمیدهد و تغلیظ آن مشکل تر است .

میزان تولید این لجن بمقدار و غلظت BOD در فاضلاب و نوع سیستم بیولوژیکی مرتبط میباشد و طبق رابطه زیر قابل محاسبه میباشد :

$$W_s = K \times BOD \times Q \times 10^{-3}$$

W_s = مواد جامد بیولوژیکی (کیلوگرم مواد جامد در روز)

K = ضریب تبدیل BOD به مواد قابل ته نشین شدن (معمولا ۰/۲ الی ۰/۷)

BOD = غلظت BOD پساب بعد از تانک های رسوب گیری مقدماتی (میلی گرم در لیتر ppm or mg/l)

Q = شدت جریان متوسط فاضلاب (مترمکعب در روز)

ولی طرح سیستمهای تغلیظ لجن علاوه بر مقدار وزنی لجن خشک بیشتر به حجم لجن تر ارتباط دارد .

هرگاه درصد مواد جامد و میزان آب لجن را در دست باشد حجم لجن را از رابطه زیر که با فرض وزن مخصوص لجن تر ۱ باشد . بدست آمده ، میتوان پیدا نمود :

$$V = \frac{W}{\left(\frac{s}{100}\right)} = \frac{W}{\left(\frac{100-p}{100}\right)} \cdots\cdots\cdots\cdots$$

V= حجم لجن تر (مترمکعب)

W = وزن لجن خشک ، مواد جامد (کیلوگرم)

S= درصد مواد جامد

p = درصد آب

در صد موادجامد از پارامترهای بسیار مهم است و طبیعی است که در تصفیه خانه ها هر چقدر میزان حجمی لجن بیشتر باشد هزینه تصفیه لجن بیشتر خواهد بود. در صد جامدات در انواع لجنها را بطور نمونه میتوان به این شرح بیان نمود:

لجن خام بدست آمده از مخازن ته نشینی مقدماتی	٪ ۶ - ۸	مواد جامد
مخلوط لجن خام و لجن بدست آمده از تصفیه با فیلتر بیولوژیکی	٪ ۴ - ۶	مواد جامد
مخلوط لجن خام و لجن بدست آمده از تصفیه با هوادهی	٪ ۳ -۴	مواد جامد
"لجن فعال شده" مازاد (ازاستخرهای هوادهی)	٪ ۰/۵ - ۲	مواد جامد

اگر به میزان مواد جامد موجود در لجن توجه شود ، طبیعتاً لجنی که دارای مواد جامد بیشتری باشد بسیار کم هزینه تر تصفیه خواهد شد. مثلاً برای بدست آوردن ۲ کیلوگرم لجن خشک از لجن تری که در صد آب آن ۹۸٪ است باید ۱۰۰ لیتر لجن را خشک نمود ولی برای بدست آوردن همین مقدار لجن خشک از لجن تری که درصد آب آن ۹۶٪ است فقط ۵۰ لیتر لجن را باید خشک نمود . به این جهت اهمیت تغلیظ لجن در تصفیه آن درک میشود.

مثال : فاضلابی با شدت جریان 4000 m3/d و BOD = 200 mg/l و SS = 220 mg/l در تصفیه خانه با سیستم فیلترهای بیولوژیکی تصفیه میشود. با استفاده از رابطه های Wp و Ws میزان لجن تولید شده در مخزن ته نشینی مقدماتی و مخزن ته نشینی نهائی را بدست آورده و تولید سرانه لجن و مقدار جمعیت مربوط به این شبکه را محاسبه نمایید.

هرگاه لجن بدست آمده از تانک ته نشینی نهائی به تانک مقدماتی برگشت داده شود و مخلوط این دو لجن دارای ۵٪ مواد جامد باشد ، حجم لجن تر قابل دفع در روز را محاسبه کنید. فرض شود که مخزن ته نشینی مقدماتی ۵۰٪ مواد جامد و ۳۵٪ بی اودی را برداشت مینماید و ۲۴ ٪ BOD تبدیل به لجن میشود و تولید روزانه بی اودی برای هر نفر ۶۰ گرم در نظر گرفته بشود. (وزن مخصوص لجن تر = ۱ میباشد).

الف . با استفاده از رابطه های فوق : مقدار لجن بدست آمده از تانک رسوب گیر مقدماتی

$$W_p = f \times S.S. \times Q$$

$$W_p = 0.5 \times 220 \times 10^{-3} = 0.11 \ kg/m^3$$

ب : با در نظر گرفتن برداشت ۳۵ در صد از BOD در مخزن ته نشینی مقدماتی و تبدیل ۲۴ ٪ آن به لجن در فیلتر بیولوژیکی و ته نشین شدن این بخش :

$$W_s = 0.24 \times 0.65 \times 200 \times 10^{-3} = 0.0312 \ kg/m^3$$

برای بدست آوردن تعداد جمعیتی که ۴۰۰۰ مترمکعب فاضلاب تولید میکنند برای هر نفر ۶۰ گرم BOD در نظر گرفته شده :

نفر . تعداد جمعیت مرتبط با شبکه $P \Rightarrow \frac{4000 \times 200}{60} = 13333$

گرم هر نفر در روز $\text{تولید سرانه لجن} \Rightarrow \frac{Wp + Ws}{\text{تعدادجمعیت}} = \frac{(0.11 + 0.0312 \times 4000)}{13333} = 0.042$

برای بدست آوردن حجم لجن تر

$(0.11 + 0.312) \times 4000 = 568 \text{ kg or litre}$

کل لجن بدست آمده در روز $V = - = \frac{568}{\left(\frac{s}{100}\right)} = 11360$

تصفیه لجن

روش هائی که برای دفع لجن بکار میرود متفاوت بوده و بستگی به نوع لجن و امکانات موجـود دارد مثلاً در بعضـی از تصفیه خانه ها ئی که در خارج از نقاط پرجمعیت و شهرها قرار گرفته اند لجن را بصورت تر و خام نیز متیوان در نقاطی که ایجاد اشکال نمیکنند (مثل معادن قدیمی و ...) انبار و دفع نمود.

در هر حال هزینه دفع لجن با توجه به امکانات تصفیه خانه و روش مربوط بدفع متفاوت بوده و بعضاً رقم قـابل توجهـی را تشکیل میدهد.

بهر صورت لجنی که در نقاط مختلف تصفیه خانه تولید میشود(تانک های ته نشینی مقدماتی و سیستمهای بیولوژیکی) را مطابق بشرح زیر از یک سری مراحل عبور میدهند تا لجن قابل دفع و مشـخصات قـابل قبولـی بشـود ، ایـن مراحـل عبارتند از :

الف : حفظ و نگهداری لجن قبل از تصفیه :

۱- نگهداری در مخازن ته نشینی مقدماتی و برگشت لجن اضافی از سایر نقاط تصفیه خانه به محزن مقدماتی

۲- نگهداری لجن در مخازن مخصوص (اگر حجم لجن بیش از حد معینی باشد)

ب : تغلیظ لجن برای ساده تر نمودن هضم بیولوژیکی و یا خشک نمودن

۱ - تغلیظ بکمک ته نشینی (تغلیظ ثقلی) توسط نیروی وزن (یا بدون اضافه نمودن مواد شیمیائی لخته زا)

۲- تغلیظ بکمک شناور سازی توسط هوای تحت فشار(یا بدون اضافه کردن مواد شیمیائی لخته زا)

ج : تثبیت لجن

۱- تثبیت بکمک اضافه نمودن مواد شیمیائی (مثل افزودن کلر و یا آهک)

۲- تثبیت بکمک هضم هوازی

۳- تثبیت بکمک هضم غیرهوازی

د : تغلیظ مجدد لجن تثبیت شده

۱- بکمک اضافه نمودن مواد شیمیائی لخته زا

۲ - آبگیری از طریق انجماد

۳ - کم آب کردن توسط حرارت

ح : خشک کردن کامل لجن

۱: فیلتر خلاء (که کاملاً خشک نمیکند)

۲ : فیلتر تحت فشار (فیلتر پرس)

۳ : سانتریفیوژ (با نیروی گریز از مرکز)

۴- با استفاده از گرمای خورشید در بسترها و یا لجن خشک کن (که نسبتاً بطور کامل لجن خشک تحویل میدهد)

خ : از بین بردن مواد خشک شده :

۱- دفن کردن در زمین

۲- سوزانیدن و دفن خاکسترها

۳- کود کردن (کمپوست سازی)

۴- دفن در دریاها و اقیانوسها (که تقریباً در حال منسوخ شدن است)

همیشه برای تصفیه و از بین بردن لجن لازم نیست تمام مراحل فوق بطور سیستماتیک طی شوند بلکه همانطور که قبلاً نیز به آن اشاره شد با امکانات محل تصفیه خانه میتوان یک یا چندمرحله فوق را حذف ویا برعکس یک یا چند مرحله دیگر به آن اضافه نمود.

نگهداری لجن:

لجن بدست آمده از فیلترهای بیولوژیکی بعلت خواص ته نشینی خوبی که دارد به تانک رسوب گیری مقدماتی واریز شده و در آنجا حفظ میشود و از این نقطه به تانک های تغلیظ و مراحل بعدی فرستاده میشود. در سیستم لجن فعال شده ، لجن بمقدار زیادی به تانک هوادهی عودت میشود و لجن اضافی اگر به تانک روسوب گیری مقدماتی هم ریزد باعث برهم خوردن لخته های ته نشین شده در آن تانک نیز میگردد ، در نتیجه این لجن را تانک جداگانه ای حفظ نموده و لجن بدست آمده از مخازن ته نشینی مقدماتی را نیز به آن اضافه میکنند و از این نقطه جهت تغلیظ لجن فرستاده میشوند.

تغلیظ لجن

با توجه به اینکه غلظت مواد جامد در لجن های تصفیه خانه (معمولاً مخلوط لجن خام و لجن مازاد بیولوژیکی) در جدود ۱ الی ۳ در صد میباشد تغایظ لجن بمنظور افزایش غظت مواد جامد در لجن و معمولاً با استفاده از روش های زیر انجام میگیرد:

۱- تغلیظ بکمک ته نشینی (Gravity Thickening)

۲- تغلیظ بکمک شناور سازی با هوای محلول (Dissolved Air Floatation)

۲- تغلیظ بکمک روشهای مکانیکی

تغلیظ توسط ته نشینی Gravity Thickening

در فرایند تغلیظ ثقلی (تغلیظ توسط ته نشینی) افزایش غلظت مواد جامد در اثر تراکم جامدات و توسط نیروی وزن لجن و در مخازنی شبیه مخازن ته نشینی مقدماتی انجام میگیرد.

مواد جامد در کف مخزن متراکم شده و آب نسبتاً شفافی که در سطح بالای مخزن قرار میگیردو بنام لجناب معروف است به منهول و یا تلمبه خانه اول خط تصفیه خانه بازگشت داده میشود .

مخازن تغلیظ بر مبنای بار جرمی طرح و انتخاب میشوند و بار قابل قبول در مخازن تغلیظ در حدود 50 - 25 کیلوگرم مواد جامد بر هر متر مربع مساحت سطح مخزن در روز میباشد.

حد قابل قبول مواد تغلیظ شده 6-8 ٪ میباشد و البته این حد با نوع فاضلاب و نوع مواد جامد شناور در آن متغیر میباشد.

گاه برای تسریع در عمل تغلیظ و افزایش بازدهی فرایند از مواد لخته ساز Coagulant (مثل آهک - کلرور فریک و یا پلی الکترولیت ها) استفاده میشود. این مواد ذرات شناور موجود در مایع را بهمدیگر جذب نموده و با تشکیل لخته های درشت تر و سنگین تر ، باعث تسریع در ته نشینی میشوند.

تغلیظ بکمک شناور سازی Dissolved Air Floatation

در فرایند شناور سازی با هوای تحت فشار (یا هوای محلول) که اختصاراً بنام DAF نـامیده میشـود.، لجـن درمخـزن مخصوصی تحت فشار زیاد با هوا مخلوط میشود تا هوا درلجن حل گردد .

مخلوط لجن با هوای محلول پس از عبور از یک شیر فشار شکن به مخزن شناور سـازی وارد میشـود و بعلـت برداشـت فشار در این مخزن هوای حل شده از حالت محلول خـارج و نـامحلول میگـردد. حبابهـای هـوا بهنگـام صعـود بـه سـطح مخلوط ذرات و لخته ها را نیز با خود بسطح لجناب میآورند و لجن متراکم شناور شده روی سـطح توسـط مکـانیزم مخصوص جمع آوری میگردد(همانطوریکه در شکل ملاحظه میشود) .

سیستم شناور کننده در روند تغلیظ لجن فعال شده بیشتر بکار میرود و لجنی که از ایـن طریـق تغلیـظ میشـود حـود 4% موادجامد دارد. میزان بار قابل تحمل دراین دستگاه بیشتر از تغلیظ بکمک ته نشینی است (بـه ایـن علـت کـه بازدهی سیستم بیشتر و زمان توقف بسیار کوتاه تر است) و حدود 15-9 کیلوگرم در متر مربع در ساعت میباشد.

هزینه های احداث و راه برای سیستم DAF (هزینه پمپاژ - کمپرسور هوا - مکاینزم جمع آوری کننده) بیشتر از تغلیظ بکمک ته نشینی است .

برای افزایش بازدهی فرایند شناور سازی استفاده از مواد شیمیائی منعقد کننده مثل کلرور فریک و پلی الکـترولیت ضـروری میباشد .

در سیستم DAF فشار در مخزن تحت فشار در حدود ۳ الی ۵ اتمسفر و میزان هوای مورد نیاز برای شناور سازی جامدات در حدود ۰/۰۲ الی ۰/۰۴ کیلوگرم هوا به ازاء هر کیلوگرم مواد جامد است.

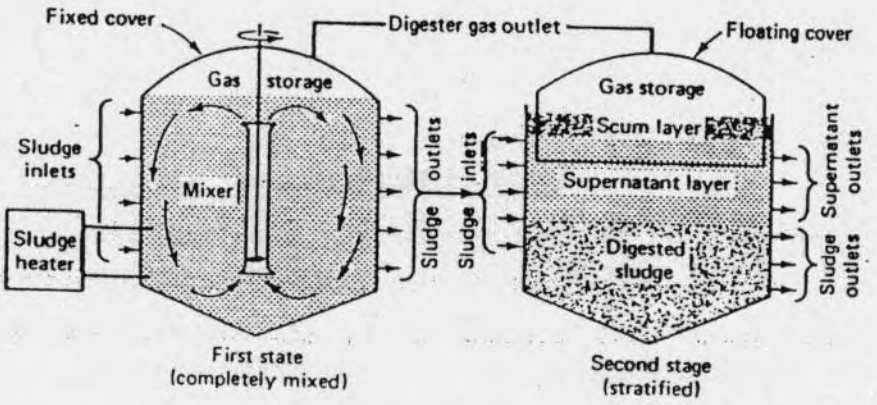
هضم هوازی Aerobic Digestion

هضم هوازی معمولاً برای تثبیت (هضم و تصفیه) لجن مازاد در فرایند لجن فعال شده که در تـانک هوادهـی بوجـود آمده بکار برده میشود. اصول این سیستم بر این مبناست که با هوادهی لجن ، میکروارگانیزمهـا وارد فـاز بـاصطلاح خـود خوری شده (Endogenous Respiration) وبتدریج تجزیه میگردند.

زمان هوادهی در مخازن هضم هوازی بمدت 20-10 روز میباشد. حجم این تانک ها معمولاً حـدود 0.1 مـترمکعب برای هر نفر (حجم از طریق معادل جمعیتی) و میزان بـار وارده حـدود 0.20 - 0.15 کیلوگـرم مـواد جـامد و فـرار (Volatile Solids) در مترمکعب در روز در نظر گرفته میشود.

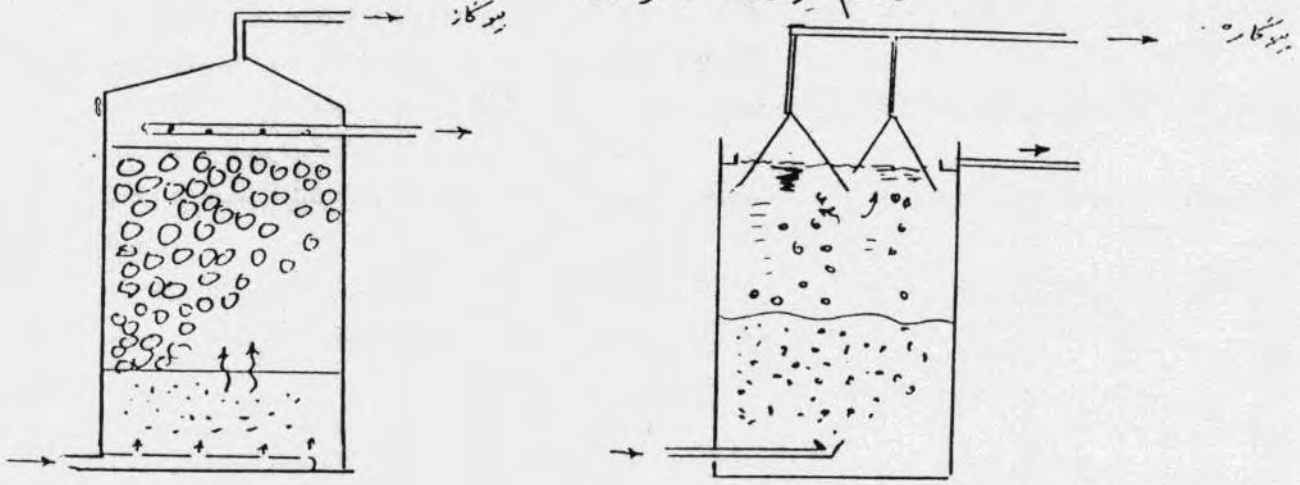
هوادهی لجن در هاضم (مخزن هوادهی) توسط هواده های سطحی انجام میشود و معمولاً به ازاء هـر مـتر مکعـب حجـم استخر هوادهی ۳۰ وات انرژی هوادهی بکار برده میشود .

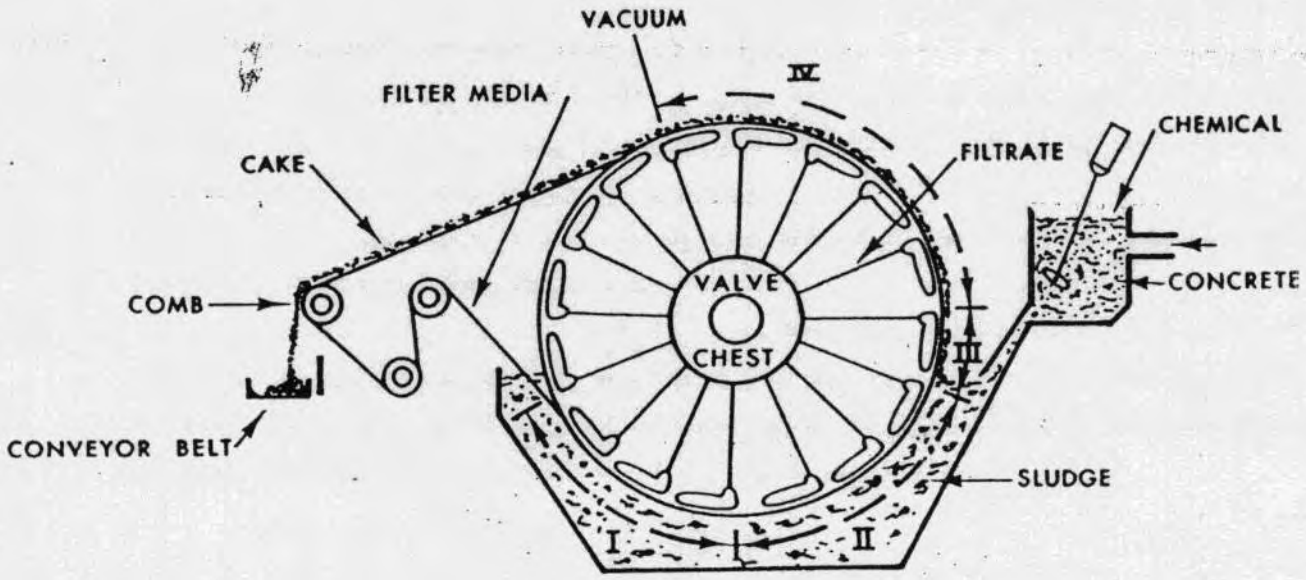
درهضم هوازی درحدود ۶۰ الی ۷۰ در صد از موادآلی فرار تجزیه میگردد و لجن بدست آمده از این روش هضـم بصـورت تر نیز قابل استفاده بصورت کود میباشد . لجن هضم شده بدون بو و بدون خواص مضر لجن خام میباشد ولـی اشـکال عمده تغلیظ این لجن است که غالباً بدون کمک اضافه نمودن مواد شیمیائی صورت نمیپذیرد و در نتیجـه لجـن هضـم شده بطریق هوازی غالباً باید بتوسط دستگاه های مکانیکی مثل سانتریفیوژ تغلیظ بشود.



Typical two-stage anaerobic digestion process.

حاضم غیرهوازی ۲ مرحله‌ای





فیلتر خلاء برای آبگیری لجن

هضم غیرهوازی Anaerobic Digestion

عمل تثبیت لجن از روش " هضم غیر هوازی " بصورت ابتدائی از زمانهای بسیار قدیم متداول بوده است. در این فرایند مواد آلی در شرایط غیر هوازی توسط میکروارگاینزمها هیدرولیز شده و ابتدا تشکیل مواد آلی ساده تر داده که خود توسط میکروارگانیزمهای اسیدساز تبدیل به اسیدهای آلی (بخصوص اسید پروپیونیک و لسید استیک) میشوند.
در مرحله بعدی اسیدهای تشکیل شده تبدیل به گاز کربونیک و گاز متان که بنام بیوگاز معروف است میگردند.

مواد آلی $\longrightarrow$ CO_2 اسیدهای آلی و الکل دار و $\longrightarrow$ $CO_2 + CH_4 + ...$

بعنوان مثال تجزیه غیر هوازی قند بصورت زیر میباشد :

$C_6H_{12}O_6$ -------- 3 CH_3COOH

3 CH_3COOH ---------- 3 CH_4 + 3 CO_2

روش هضم غیر هوازی مهمترین روش تثبیت لجن میباشد و با این روش لجن خام متعفن پس از تصفیه بصورت لجنی تیره رنگ ، بدون بو، قابل تغلیظ و آبگیری در می آید.

همانگونه که توضیح داده شد فعل و انفعالاتی که اتفاق می افتند ۳ مرحله ای میباشد. در مرحله اول باکتریها مواد آلی را با هیدرولیز تبدیل به مواد ساده تر میکنند و در مرحله دوم باکتریهای اسید ساز ، موادآلی در هاضم را تبدیل به اسیدهای آلی (اسیدهای فرار) و گازها (H_2S , CO_2 و غیره) می نمایند. در مرحله سوم باکترهای متان زا (Metanogenesis) این مواد آلی (اسیدها و الکل ها و ..) راهضم نموده تبدیل به گاز CH_4 و CO_2 می نمایند. مرحله اول و دوم بسرعت ولی مرحله سوم یعنی مرحله پیدایش متان بکندی صورت میگیرد. در نتیجه زمان توقف در مخازن هضم غیرهوازی معمولی و در شرایط عادی حدود 90 -30 روز میباشد.
باکتریهای متان زا فقط قادر به هضم اسیدهای آلی و الکل ها میباشند و در درجه حرارت کم و یا pH اسیدی قادر به فعالیت نمیباشند در نتیجه عمل هضم غیرهوازی غالبا" با اشکالاتی همراه میباشد . یکی از مشکلات متداول تولید زیاد و انباشته شدن اسیدهای آلی است که باعث کاهش pH شده و در نتیجه آن از فعالیت باکتریهای متان زا کاسته میشود و در نتیجه سیستم بطور کامل عمل نمینماید . برای جلوگیری از این مشکل تنظیم شرایط شیمیائی داخل هاضم از جمله قلیائیت محیط ضروری است.
درجه حرارت محیط نیز در بازدهی هضم غیرهوازی بسیار موثر است . در دمای 45-35 درجه سانتی گراد هضم غیرهوازی خیلی بهتر از درجه حرارت 22-15 درجه انجام میگیرد. به این مناسبت اغلب دیده میشود که در تصفیه خانه ها با استفاده از گاز متان بدست آمده ، لجن حرارت داده میشود تا هضم با بازده بیشتری انجام بگیرد.

بطور کلی پارامترهایی که در کنترل سیستم هضم غیر هوازی باید زعایت بشود عبارتند از :

پی اچ داخل هاضم pH باید در محدوده 7.4 - 6 . 7 حفظ شود

دمای سیستم حتی الامکان باید در حدود C 45- 20 کنترل شود

تولید گاز متان 0.5 - 0.3 مترمکعب گاز در ازاء هر کیلوگرم مواد جامد وفرار اضافه شده

ترکیب گاز (70- 65 ٪ متان - 35 - 30 % CO_2 و مقدار جزئی سایر گازها

غلظت اسیدهای فرار (200 - 800 mg/l)

قلیائیت 2000 - 3500 mg/l برای جلوگیری از افت pH ، اسیده شدن مخلوط)

مقدار بار آلی 0.6 - 0.3 کیلوگرم مواد جامد در هر مترمکعب از حجم تانک در روز

حذف و برداشت مواد جامد فرار (70 - 50 %)

زمان توقف مواد جامد (90- 30 روز) ، حجم تانک غیرهوازی (حدود 200- 100 لیتر هر نفر) .
مخازن هضم غیر هوازی که بنام دایجسیر Digester یا هاضم معروف میباشند در محدوده درجه حرارت های زیر بکار برده میشوند :

Mesophilic	درجه حرارت C 25 - 20	مزو فیلیک
Trermophilic	درجه حرارت C 45 - 30	ترموفیلیک

نوع و فعالیت باکتریهای غیرهوازی در دو سیستم مزوفیلیک و ترموفیلیک متفاوت میباشند و هر گاه سیستم از یکی از دو روش فوق به دیگری انتقال پیدا کند (مثلاً درجه حرارت تانک دایجستر از C 40 بعلت خرابی مولد حرارت به 20 برسد) باعث بر هم خوردن تعادل خواهد شد و زمانی طول خواهد کشید تا دوباره هضم غیرهوازی بطور عادی عمل نماید. این یکی از مشکلاتی است که غالباً در تصفیه خانه ها با آن روبرو میشوند. تبدیل و تغییر درجه حرارت باعث بر هم خوردن تعادل pH و اسیده شدن مواد و لجن داخل دایجستر نیز شده و در اثر آن باکتریهای متان زا فعالیت خود را از دست میدهند . برای جلوگیری از اسیدی شدن ، اضافه کردن مقداری قلیائیت (بی کربنات سدیم) بمنظور ایجاد محیط بافر (Buffer) برای کنترل pH انجام میگیرد تا از تغییرات اسیدی شدید جلوگیری نماید.

فرایند هضم غیر هوازی بصورت های زیر انجام میگیرد:
۱- فرایند ساده (اصطلاحاً کم بار یا Low Rate) که معمولاً در دمای محیط انجام میشود و بصورت یک مرحله ایست.
۲- فرایند پر بار (اصطلاحاً High Rate) که در دمای بیش از ۳۵ درجه سانتیگراد انجام شده و محتویات مخزن هضم بوسیله همزن مکانیکی و یا بوسیله گاز متصاعد شده دائماً مخلوط میگردد.
۳- سایر فرایندهای هضم غیر هوازی که بیشتر برای تصفیه فاضلابهای صنعتی غلیظ بکار برده میشوند از جمله بیوفیلتر غیر هوازی - فرایند .U.A.S.B و غیره .

دایجسترهای هضم لجن (مخازن غیرهوازی) غالباً بصورت یک مرحله ای (با کنترل و یا بدون کنترل حرارت) و یا ۲ مرحله ای (معمولاً با کنترل حرارت) بکار برده میشوند.
البته امروزه غالب دایجسترهائی که طرح میشوند مخصوصاً در تصفیه خانه های بزرگ با کنترل حرارت میباشند و حتی الامکان برای ازدیاد راندمان عمل و تولید هر چه بیشتر CH_4 از سیستم ترموفیلیک استفاده میشود. سرپوش دایجستر غالباً برای داشتن انعطاف در کم و زیاد کردن حجم تانک و ایجاد مخزن ذخیره برای بیوگاز تولید شده متحرک میباشد. (شکل ضمیمه) . این امر بخصوص در مورد مخازن یک مرحله ای بیشتر رعایت میشود. در سیستم دو مرحله ای اغلب مرحله اول بمنظور تولید اسیدهای فرار و مرحله اسیدی شدن و مرحله دوم مرحله متان زائی نامیده میشود ولی در عمل اینطور نیست و بسیار مشکل است که اسیدی شدن و متان زائی را از یکدیگر تفکیک نمود.
گاهی نیز سیستم دو مرحله ای بمنظور تفکیک لجن هضم شده از لجناب بکار برده میشود. این در صورتی است که لجن وارد شده از نظر مواد آلی بسیار غلیظ بوده ولی از نظر مواد جامد و شناور و درصد آب ، رقیق باشد (مثل پساب کارخانجات تولید کننده مواد غذائی که مثلاً پسابی با غلظت BOD>10,000 تولید میکنند ، این پساب مستقیماً وارد تانک هضم غیرهوازی شده و مرحله ابتدائی تصفیه را که حذف ۶۰ - ۹۰ در صد بار آلی است میگذراند) .
برای پسابهای غلیظ (با غلظت BOD بیش از ۲۰۰۰ میلیگرم در لیتر) استفاده از سایر روشهای هضم غیر هوازی پربار مثل بیو فیلترهای بیولوژیکی غیرهوازی و یا سیستم UASB متعارف تر میباشد.

بیو فیلتر عیر هوازی بصورت ستون های با بستر آکنده (یستر پکینگ Packed Bed) ساخته شده و بعلت عملکرد بسیار مطلوب ، راه بری نسبتاً ساده و ثبات بیولوژیکی ، بعنوان سیستم مناسبی در صنعت تصفیه فاضلاب بکار برده میشوند.

سیستم Up Flow Anaerobic Sludge Blanket که به اختصار UASB نامیده میشود نوعی هاضم غیر هوازی پر بار میباشد. در این سیستم ورود فاضلاب از قسمت پائین بیوراکتور و جریان آب بسمت بالا است. با رشد گرانولهائی از توده های میکربی که عامل اصلی تصفیه محسوب میشوند فاضلاب دو فاز متمایز تشکیل میدهد. فاز بالا فاضلاب تصفیه شده و فاز پائین گرانولهای میکربی میباشند. این سیستم با قابلیت بسیار زیادی فاضلاب را تصفیه میکند و برای کاهش بار آلودگی فاضلابهای غلیظ صنعتی بسیار مناسب میباشد.

محاسبه حجم تانک (دایجستر) غیرهوازی

از روابط مختلفی برای محاسبه حجم دایجستر ها استفاده میشود . از جمله اکثراً حجم تانک بر مینای حاصلضرب حجم لجن روزانه در زمان ماند متوسط (V = Q x T) استفاده میشود . همچنین از رابطه :

$$V = \frac{(V1 + V2)}{2} T_1 + V_2 . T_2$$

رابطه فوق برای تخمین حجم مورد نیاز برای تصفیه غیرهوازی لجن استفاده میشود. (البته بدست آوردن پارامترهائی مثل T_2 , V_2 کار ساده ای نیست و از این جهت فقط تخمین حجم مورد نیاز میسر میباشد) .

در این فرمول V حجم تانک بر حسب مترمکعب ، V_1 حجم لجن اضافه شده در روز V_2 حجم لجنی که هضم نشده ولی هنوز در تانک موجود میباشد. T_1 زمان لازم برای هضم (روز) ، T_2 زمان ذخیره شدن لجن هضم شده (روز)

راه اندازی دایجسترها(Start - Up)

بعلت حساسیت زیاد باکتریهای متان زا نسبت به شرایط محیط و بخصوص آنکه فعل و انفعالات بیولوژیکی که باید انجام بگیرد دو مرحله ای میباشد و سرعت زیاد عمل مرحله اول باعث بوجود آورده شدن محیط اسیدی و افت pH و در نتیجه توقف فعالیتهای با کتریهای متان زا میشود. بهنگام شروع و راه اندازی دایجسترها مراقبت زیادی لازم است تا محیط کشت باکتریها مناسب باشد .

برای این منظور درجه حرارت باید حتی الامکان کنترل گردد. دوماً مقداری از (حدود 10 %) حجم دایجستر را باید از لجن هضم شده که قبلاً در دایجسترهای دیگری پروسس شده به تانک اضافه نمود تا باعث شروع فعالیت ها بشود. سوماً برای جلوگیری از اسیده شدن حتماً مقداری بیکربنات سدیم به لجن ورو دی به دایجستراضافه باید بشود تا تغییرات pH را کنترل نماید و به این ترتیب دایجستر غیرهوازی قابل استفاده خواهد بود.

مثال : حجم دایجستر غیرهوازی را که دارای مشخصات زیر میباشد بر حسب معادل جمعیتی محاسبه نمائید ؟ برای هر نفر در روز ۹۰ گرم مواد جامد در نظر گرفته شود ، لجن خام دارای ۴٪ و لجن هضم شده دارای ۷٪ مواد جامد میباشد. بر اثر هضم ۴۰٪ مواد جامد بصورت گاز درآمده و زمان توقف در دایجستر ۳۰ روز میباشد ولی مواد هضم شده در دایجستر حدود ۹۰ روز ذخیره میشوند؟

با توجه به اینکه طرح بر حسب معادل جمعیتی میباشد ، لجن خام تولید شده برای هر نفر:

حجم لجن تر (کیلوگرم) یا لیتر در روز هر نفر

$$V_1 = \frac{0.090}{\left(\frac{4}{100}\right)} = 2.25$$

چون ۴۰ در صد لجن بصورت گاز تجزیه میشود ۶۰ در صد بفیه باقی میمانند.

حجم لجن هضم شده هر نفر در روز برحسب لیتر

$$V_2 = \frac{0.6 \times 0.090}{\left(\frac{7}{100}\right)} = 0.8$$

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} . T_1 + V_2 . T_2$$

حجم مخزن بر حسب لیتر در ازاء هر نفر

$$= \frac{2.25 + 0.8}{2} \times 30 + 0.8 \times 90 = 115$$

آبگیری و خشک کردن لجن

یکی از مشکلات عمده در دفع لجن حذف آب (لجناب) و افزایش در صد ماده جامد یا کاهش رطو بت لجن میباشد. برای این منظور از روشهای زیر استفاده میشود :

- روشهای مکانیکی :
  - فیلتر حلاء
  - فیلتر پرس
  - فیلتر نواری (Belt Filter)
  - سانتریفیوژ
- روشهای ساده و غیر مکانیکی
  - بسترهای شنی
  - لاگون تبخیری

فیلتر خلاء VACCUM FILTER

فیلتر خلاء یکی از متداولترین وسائل برای تغلیظ لجن تصفیه شده میباشد. برای مثال لجن تصفیه شده ای در نظر گرفته شود که دارای ۵٪ مواد جامد میباشد ، یعنی در هر ۲۰۰۰ کیلوگرم لجن ۱۰۰ کیلوگرم مواد جامد و بقیه آب میباشد. حال اگر این لجن تغلیظ و مثلاً به ۳۰٪ مواد جامد رسانیده شود به این معنی خواهد بود که ۱۰۰ کیلوگرم مواد جامد در ۳۳۳ کیلوگرم لجن تر وجود خواهد داشت . در اینصورت میزان لجن از ۲۰۰۰ کیلوگرم به ۳۳۳ کیلوگرم تقلیل یافته است . در نتیجه بعلت هزینه بسیار کمتری که در نقل و انتقال و دفع لجن بکار خواهد رفت فرایند تغلیظ و آبگیری از لجن مهم تلقی شده و در تصفیه خانه ها بکار برده میشود.

فیلتر خلاء از استوانه ای که توسط یک صافی (پارچه ای - شبکه فلزی - توری و غیره) پوشانده شده و این استوانه بدور محور خود در گردش میباشد تشکیل شده . داخل استوانه به قسمتهای مختلف تقسیم گردیده ، بطوریکه قسمتی از استوانه که در داخل تانک لجن است از داخل تحت فشار منفی یا خلاء قرار میگیرد که در اثر آن مواد جامد به سطح صافی جذب میشوند ، در قسمت بعدی مواد جامد شستشو داده شده و بصورت خمیری سطح صافی را میپوشانند. این خمیر در قسمت دیگری بعلت فشاری که از داخل استوانه به آن وارد میشود و تیغه مخصوصی که در کنار استوانه قرار گرفته از سطح صافی جدا شده توسط سیستم انتقالی ، منتقل میشود.

معمولاً برای تشکیل لخته های بزرگتر و جلوگیری از خردشدن خمیر لجن روی سطح صافی از مواد شیمیائی استفاده میکنند. این مواد به نسبت های مختلف به لجن اضافه میشوند و تعیین نوع و اندازه ماده شیمیائی با نوع لجن متفاوت میباشد و باید قبلاً در آزمایشگاه تحت مطالعه وقرار گرفته و تعیین شده باشد(مواد شیمیائی عادی عبارتند از آهک حدود 5-10 ٪ کلرورفریک 4-2٪ و پلی الکترولیت ها حدود 1%) . خمیر لجنی که از این طریق بدست می آید دارای حدود 30٪ مواد جامد میباشد.

واحد بکار برده شده در مورد طرح فیلتر، کیلوگرم مواد جامد خشک در هر متر مربع از سطح فیلتر میباشد و معمولاً فیلترهای عادی حدود 4 کیلوگرم مواد جامد خشک در هر مترمربع از سطح فیلتر در ساعت را تغلیظ می نمایند. پارامترهای مورد نیاز عبارتند از : سرعت دوران ، میزان خلاء و مقدار مواد شیمیائی لازم برای لخته کردن .

سانتریفیوژ CENTRIFUGATION

برای جدا سازی مایعات از جامدات از نیروی گریز از مرکز میتوان استفاده نمود و بنا براین دستگاه سانتریفیوژ که برمبنای اصول " گریز از مرکز" عمل میکند بمنظور تغلیظ لجن بکار برده میشود ولی موارد استعمال بسیار کمتری نسبت به فیلتر خلاء دارد. سانتریفیوژ خمیری که دارای 20-15 ٪ مواد جامد میباشد تولید مینماید ولی بطور کلی راندمان این سیستم از فیلتر خلاء کمتر میباشد. مواد شیمیائی در این سیستم نیز به لجن اضافه میشود تا با تشکیل لخته های بزرگتر در زمان کمتری آب خود را از دست بدهد.

فیلتراسیون تحت فشار (فیلتر پرس) FRESSURE FILTERATION

با عبور لجناب از صافی تحت فشار باعث جدا شدن آب از لجن شده و در نتیجه آبگیری از لجن صورت میگیرد. جنس صافی معمولاً از پارچه مخصوصی میباشد ولی در بعضی از انواع فیلتر از صافی های دیگری نیز استفاده شده است. فیلتر پرس برای جدا سازی جامدات از مایعات کاربرد فراوانی در صنایع مختلف دارد.

امتیاز عمده این سیستم تغلیظ در این است که تقریباً ۹۰ درصد موادجامد گرفته میشود و خمیر لجن بدست آمده حدود 50-40 ٪ مواد جامد دارد. در نتیجه خمیری که از این طریق بدست می آید ساده تر جابجا شده ، بهتر سوزانده میشود ، بدون بو بوده و بسهولت دفع میگردد. فیلتر پرس معمولاً بصورت بچ (Batch) بکار برده میشود بنابراین هزینه بهره برداری و عملی این پروسس معمولاً بیشتر از دو پروسس سانتریفیوژ و فیلتر خلاء میباشد ولی چون کیک بدست آمده دارای تراکم بیشتر و درصد رطوبت بسیار کمتری است کاربرد فراوانی در صنعت دارد.

سوزاندن و خشک کردن INCINERATION AND DRYING

لجنی که حداقل دارای ۳۰٪ مواد جامد میباشد در دستگاههای مخصوص (زباله سوز) سوزانده و از بین برده میشود. حرارتی که در دستگاه زباله سوز تولید میشود لجن را بصورت خشک و قابل سوزانیدن در می آورد ، در نتیجه این پروسس خودکفا بوده و احتیاج بسوخت خارجی ندارد.

از این قبیل زباله سوزها بمنظور خشک کردن کامل لجن و یا "خشک کردن و سوزاندن " استفاده میگردد. درجه حرارت تولید شده درداخل کوره زباله سوزی به حدود ۸۰۰ درجه سانتیگراد نیز میرسد و گاهی در سیسم های بزرگتر از این پروسس ا ستفاده نموده و حرارت تولید شده را بمصارف دیگر نیز میرسانند.

مشکل عمده آلوده شدن هوا میباشد که باید کاملاً کنترل گردد و طبق استانداردهای متداول گازهای خارج شده از زباله سوز نباید بیشتر از 70 mg مواد جامد در هر مترمکعب گاز تولید شده (خروجی) داشته باشند.

بمنظور خشک نمودن محدود و سریع لجن (اگر منظور سوزانیدن آن نباشد) از Flash Dryer (خشک کن سریع) و یا Fluidised Bed نیز استفاده میشود. لجن خشکی که از این طریق بدست می آید در صورتیکه دارای مُواد مضر نباشد، قابل استفاده در کشاورزی بعنوان کود میباشد.

خشک کردن در بسترهای شنی DRYING BEDS

بسترهای شنی بصورت حوضچه هائی هستند که از چند لایه شن با دانه بندی مختلف که هر لایه بقطر حدود 15-10 سانتی متر میباشد تشکیل شده اند. لجن نیمه تر با 30-20٪ مواد جامد در این حوضچه ها ریخته شده و زیر نور خورشید رطوبت خود را از دست میدهد. خشک کردن لجن از این طریق لازم به هزینه های مختلف(منجمله زباله سوز و غیره) ندارد و فقط زمین مورد نیاز باید در دست باشد.

از مشکلات این سیستم تولید پشه و مگس و یا متصاعد شدن بو (اگر لجن بحوبی هضم نشده باشد) را میتوان نام برد.

انتخاب بار سطحی بستر های شنی بمنظور خشک کردن لجن تابع درجه حرارت محیط و رطوبت نسبی هوا میباشد. این سیستم برای آب و هوای خشک و گرم بسیار مناسب میباشد. در این نوع آب و هوا ، بار سطحی تا حدود ۲۰۰ کیلوگرم مواد جامد بر هر متر مربع سطح بستر در سال مجاز میباشد ولی در سایر شرایط آب و هوائی بار کمتری باید انتخاب شود.

دفع نهائی لجن

اگر لجن تر فقط متشکل از فاضلاب خانگی باشد، بهمان صورت نیز قابل مصرف بعنوان کود میباشد و در غیر اینصورت لجنی را که از تصفیه خانه ها بدست می آید طبق مراحلی که در این قسمت گفته شد باید خشک و دفع نمود . در هر صورت هزینه های مربوطه و اشکلاتی که احتمالاً از نظر محیط بوجود می آورد (پشه - مگس - بوی تعفن - آلودگی و غیره) عوامل تصمیم گیرنده میباشند. گاهی نیز لجن را بصورت خام و تر بدون هیچگونه تصفیه ای در میان اقیانوس دفع میکنند ولی این روزها کمتر دولتی بخود اجازه میدهد بدین ترتیب محیط خود را آلوده کرده و مورد نکوهش اکولوژیست ها قرار بگیرد.

کود سازی لجن همراه با زباله های خانگی نیز روش دیگری برای دفع لجن میباشد. به این فرایند " کمپوست سازی لجن " گفته میشود .چنانچه لجن دارای ترکیبات مضر از جمله فلزات سنگین (کرم ، کادمیوم ، سرب و.....) و یا ترکیبات ارگانیک خطرناک (تاکسینها ، ....) و یا تخم انگل و ..... نباشد قابل استفاده برای غنی سازی خاکهای کشاورزی است .

حذف ازت و فسفر

پدیده شکوفائی جلبک Algal Bloom که به مفهوم رشد سریع و زیاد خزه ها و جلبکها در آبهای سطحی میباشد میتواند باعث انباشتگی زیاد خزه ها و جلبکها و سایر گیاهان آبزی در تالابها ، برکه ها، دریاچه ها و سایر منابع آبی شود که به آن پدیده یوتریفیکاسیون Eutrification گفته میشود. بروز این پدیده باعث از بین رفتن تدریجی و پیری زودرس دریاچه ها و منابع آبی شناخته میشود. عوامل اصلی در رشد زیاد و سریع جلبکها را به وجود ازت و فسفر که هردو از عناصر مورد نیاز برای رشد سلولهای گیاهی هستند نسبت میدهند و از این جهت در مدیریت کنترل و دفع فاضلابها باید به حذف ازت و فسفر نیز توجه بشود.

حذف و برداشت فسفاتها Phosphorous Removal

فسفر بهمراه ازت عواملی هستند که باعث رشد بیش از حد گیاهان ، جلبک ها و خزه ها در رودخانه ها و مرداب ها و استخرهای زلال سازی میشوند و چون دفع و برداشت ازت مشکل تر از دفع و برداشت فسفر میباشد، به این جهت با کنترل فسفر در پساب خروجی از تصفیه خانه ها ، رشد گیاهان را در آبها و استخرهای زلال سازی مهار می نمایند .
حدود ۳۰ - ۵۰ درصد فسفری که در فاضلاب یافت میشود از طریق تجزیه ترکیبات مختلف از جمله پروتئینها وارد پساب شده ولی بقیه آن یعنی ۷۰ - ۵۰ ٪ را میتوان به مواد صابونی ، پاک کننده ها و دترجانت ها نسبت داد.
با وجودیکه مقداری از فسفر محلول در فاضلاب در ته نشینی مقدماتی از طریق ته نشینی و رسوب شدن حذف میشود و در حدود ۳۰ - ۲۰ ٪ آن نیز در تصفیه بیولوژیکی بمصرف رشد و تکثیر باکتریها میرسد ولی مقدار زیادی از آن بصورت محلول در پساب تصفیه شده باقی میماند که اصولاً نباید از حدود ۲-۱ میلیگرم افزونتر باشد . باین ترتیب در تصفیه فاضلاب حدود ۹۰٪ فسفر ورودی باید حذف گردد .

حذف فسفر از راه های زیر انجام میگیرد:

۱- روش کشت خزه

خزه و گیاهانی مثل نیلوفرهای آبی از طریق فتوسنتز رشد و در نتیجه فسفر موجود و محلول در پساب را مصرف کرده و باعث کاهش غلظت این عنصر در فاضلاب میگردند. این روش فقط در مواردی قابل اعمال است که در آخرین مرحله از سیستم تصفیه فاضلاب بمنظور پالایش نهائی و زلال سازی از برکه های زلال ساز هوازی استفاده گردد ، در غیر اینصورت در تصفیه خانه های معمولی غیر قابل اجرا میباشد.
در برکه های پرورش خزه و گیاهان آبزی اعمال مدیریت دقیق در کشت ، درو و برداشت خزه لازم و ضروری خواهد بود تا مشکل حذف فسفر با مشکلات عدیده دیگری جایگزین نشود.
بطور کلی این روش بندرت بکار گرفته میشود چون بعلت نیاز به استخرهای مخصوص کشت خزه وسائل درو و کنترل رشد جلبک ها احتیاج به مراقبت و هزینه های زیاد دارد.

۲- روش حذف شیمیائی

رسوب سازی فسفر با استفاده از آهک و یا املاح آلومینیوم و سایر مواد لخته ساز از قبیل کلرور فریک مناسبترین روش برای کاهش غلظت فسفر در فاضلاب محسوب میگردد. واکنشهای شیمیائی بطورخلاصه بشرح زیر میباشند :

$$Al_2(SO^{-}4)_3.14.3H_2O + 2PO_4^{-} \rightarrow 2AlPO_4 \downarrow + 3SO_4^{-} + 14.3H_2O$$

$$Fe^{+3} + PO_4^{-2} \rightarrow Fe\,PO_4 \downarrow + ...$$

$$5Ca^{+2} + 4\,OH^{-} + 3HPO_4^{-2} \rightarrow Ca_5(OH)(PO_4)_3 \downarrow + 3H_2O$$

این روش برای حذف و برداشت فسفر از فاضلاب تصفیه شده بسیار مورد استفاده قرار میگیرد.
افزودن مواد منعقد کننده و لخته ساز باعث لخته شدن و ته نشینی مواد معلق و شناور و درنتیجه زلال سازی فاضلاب نیز میشود ، یعنی علاوه بر حذف و ته نشین سازی فسفز ، مواد جامد و معلق و ذرات کلوئیدی آب نیز نه نشین شده و کدورت آب کاهش می یابد و این امر از نکات بسیار مثبت در حذف شیمیائی فسفر محسوب میگردد .
با این روش حدود ۹۰ - ۸۰ ٪ فسفر را براحتی میتوان ته نشین نمود.

حذف ازت و فرایندهای نیترات سازی (نیتریفیکاسیون) و نیترات زدائی (دی نیتریفیکاسیون)

Nitrification , Denitrification and Nitrogen Removal

ازت موجود در فاضلاب بعلت دفع مواد زائد انسانی ، مواد غذائی و البته پسابهای صنعتی میباشد . ترکیبات پروتئینی از منابع اصلی ازت محسوب میشوند. با تجزیه ترکیبات پروتئینی ازت آلی بصورت آمونیاک آزاد میشود که متعاقبا تبدیل به نیترات میگردد و بنابراین از کل ازت موجود در فاضلابهای شهری در حدود ۳۵ الی ۴۰٪ بصورت آمونیاک و ۶۰٪ بصورت ترکیبات آلی ازته ومقدار کمی نیز بصورت نیترات ها است .
مقدار کل ازت تولید شده حدود ۶-۴ کیلوگرم هر نفر در سال میباشد که از این مقدار حدود ۴۰٪ درتصفیه اولیه (مخزن ته نشینی مقدماتی) و در مرحله تصفیه بیولوژیکی (تصفیه مرحله دوم) برداشت میشود.
فعل و انفعالاتی که صورت میگیرند به این شرح میباشند :
در اولین مرحله ، تحت شرایط هوازی و یا غیر هوازی ، مواد آلی ازته تجزیه شده و آمونیاک (یا ترکیبات آمونیاکی) تولید میکنند.
در مرحله بعدی ، ترکیبات آمونیاکی بوسیله باکتریهای " نیترو سومونا " -(Nitrosomonas) و باکتریهای نیترو باکتر " Nitrobacter" که اصطلاحا به باکتریهای " نیترات ساز" معروف میباشند تبدیل به نیترات و نیتریت میشوند.
نیترات تولید شده خود ، تحت شرایط غیر هوازی ، تجزیه شده و تبدیل به گاز ازت میشود.
در نتیجه برای حذف ازت از فاضلاب باید مراحل مختلف طی شود تا ازت بصورت گاز رها گردد ، ولی همانطوریکه در این روابط ساده شده دیده میشود، فعل و انفعالات مربوط به ازت در پساب باعث مصرف اکسیژن محلول در آب نیز میشود (هر گرم ازت آلی و آمونیاکی - ازت کجلدال - ۴/۶ گرن اکسیژن نیاز دارد) که چنانچه غلظت اکسیژن را بیش از حد (معمولا ۰/۵ میلی گرم در لیتر) کاهش دهد برای موجودات آبزی مرگ آور میباشد و علاوه بر آن آمونیاک نیز برای آبزیان مسموم کننده لست ، نیتریت ها و نیتریت ها نیز برای سلامتی انسان مضر میباشند.

$$\text{ترکیبات آلی ازته} \xrightarrow[\text{تجزیه مواد آلی}]{\text{باکتریها}} NH_3 \quad \text{آمونیاک}$$

$$NH_3 + O_2 \xrightarrow[\text{نیتریفیکاسیون(نیترات سازی)}]{\text{باکتریها}} NO_3^- + NO_2 \quad \text{نیتریت + نیترات ها}$$

$$NO_3^- + AH_2 \xrightarrow[\text{دی نیتریفیکاسیون (نیترات زدائی)}]{} N_2\uparrow + H_2O + A$$

فرایندهای نتیریفیکاسیون (نیترات سازی) و دی نیتریفیکاسیون (نیترات زدائی) فرایندهائی بیولوژیکی میباشند (Biological Nitrification & Denitrification) و بنابراین تحت شرایط عمومی واکنشهای بیولوژیکی از جمله درجه حرارت ، وجود میکروارگانیسم مناسب و نبودن عناصر بازدارندهو شرایط محیطی مناسب انجام میگیرند.

حذف بیولوژیکی " آمونیاک " نیز همانطوریکه به آن اشاره شده توسط اکسیده شدن آمونیاک و تبدیل به نیترات ها و نیتریت ها انجام میشود. اکسیده شدن آمونیاک از طریق واکنش بیولوژیکی هوازی بیشتر انجام میشود . برای تجزیه بیولوژیکی هر گرم آمونیاک ۴/۶ گرم اکسیژن مورد نیاز میباشد. معمولاً درفرایند هائی که مدت و میزان هوادهی زیاد است مثل فرایند " هوادهی ممتد یا Extended Aeration که از روشهای لجن فعال است ، مقدار زیادتری از آمونیاک تبدیل به نیترات میشود یعنی عمل نیتریفیکاسیون بهتر انجام میگیرد، ولی چون زمان لازم برای نیتریفیکاسیون بیشتر از زمان لازم برای تصفیه و حذف کربن آلی بطریق بیولوژیکی میباشد بعضاً توصیه میشود برای نیتریفیکاسیون نیز واحد جداگانه ای باید در نظر گرفته شود . از این جهت میتوان از یک مخزن هوادهی جداگانه برای نتیریفیکاسیون استفاده نمود. یعنی فاضلاب در دو مرحله هوادهی شود ، ابتدا از مخزن هوادهی اول برای تجزیه مواد کربنه و سپس مرحله دوم هوادهی برای اجرای فرایند نیترات سازی مورد استفاده قرار بگیرد. pH اپتمم برای نیتریفیکاسیون ۸/۴ و حداقل غلظت اکسیژن باید ۱ میلیگرم در لیتر باشد.

دینیتریفیکاسیون (نیترات زدائی) فعل و انفعالاتی است غیرهوازی که احتیاج به یک مبناء کربن (AH_2 در رابطه فوق) برای رشد و تامین انرژی مورد نیاز باکتریها نیز دارد . از این نظر اغلب از متانول به غلظت حدود ۶۰ میلیگرم (از شکر - اتانول - استون و استیک اسید نیز استفاده شده) بعنوان منبع کربن استفاده نموده و واکنش در یک بیوراکتور ترجیحاً با جریان پیستونی مثل بیوراکتورهای از نوع بیوفیلتر غیر هوازی که دارای بستر مناسبی برای رشد و تکثیر میکروارگانیزم هاست باید انجام گردد.

نیتریفیکاسیون و دینیتریفیکاسیون مراحلی هستند که پس از مرحله دوم تصفیه یعنی " تصفیه بیولوژیکی " قرار میگیرند و معمولاً قادر به برداشت حدود ۹۰ ٪ از ازت پساب میباشند. لازم بیادآوریست که این فرایندها همیشه لازم نیستند و لذا در همه تصفیه خانه ها ضرورتاً مورد استفاده قرار نمیگیرند (مثلاً در مواردی که پساب نهائی برای آبیاری اراضی کشاورزی بکاربرده میشود) ولی مسئله مهم اکسیده شدن آمونیاک و حذف این ترکیب است که باید حتماً انجام شود و مراحل بعدی همیشه لازم بنظر نرسیده است .

دفع آمونیاک بوسیله هوادهی Air Stripping

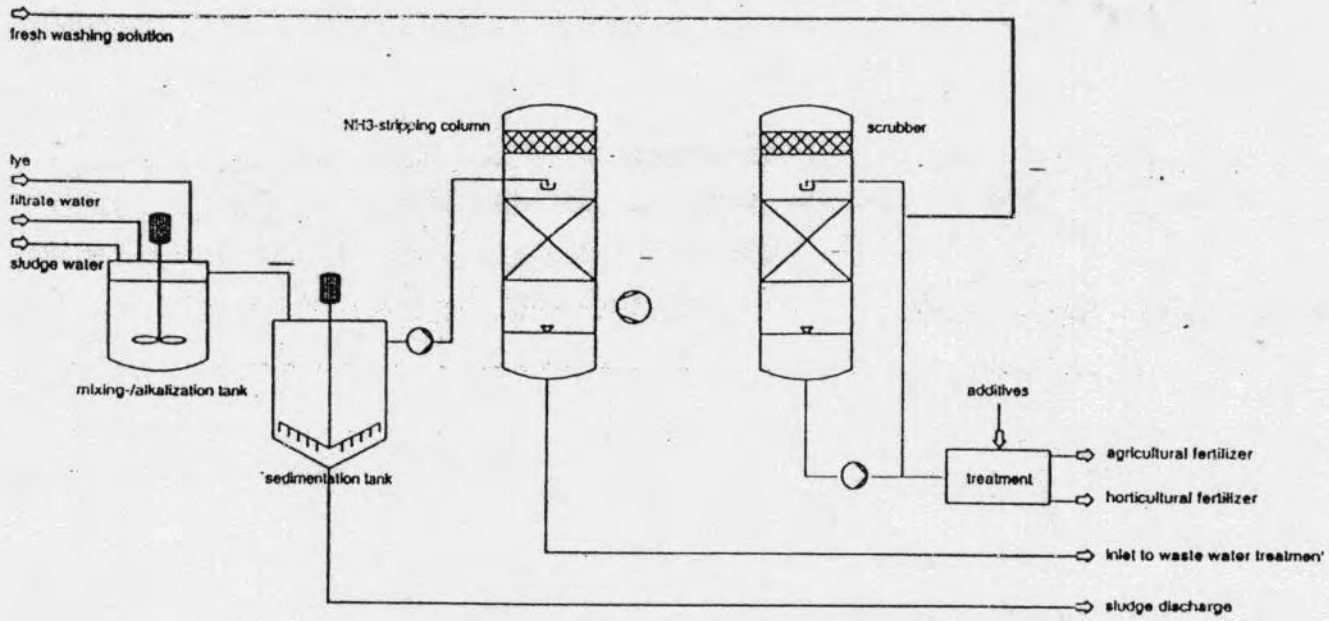
چون آمونیاک تولید شده را میتوان بصورت گاز نیز از محلول پساب خارج نمود ، با استفاده از روش دفع گاز آمونیاک بوسیله هوادهی نیز برای زدودن آمونیاک از پساب نهائی استفاده میگردد :

$$NH_4^+ + OH^- \Leftrightarrow NH_4OH \xrightarrow{\text{هوادهی}} H_2O + NH_3$$

پساب خروجی از مرحله تصفیه بیولوژیکی را به بالای برجهای بلندی که مشابه برجهای خنک کننده (کولینگ تاور) میباشد پمپاژ نموده و روی پکینگ برج پخش میکنند . عبور پساب بسمت پائین و در حالیکه هوا با شدت از پائین به بالای برج جریان دارد باعث زدودن آمونیاک محلول و تبدیل آن بصورت گاز شده وگاز تولید شده بوسیله جریان هوا از محیط خارج میشود. واکنش کاملاً تحت تاثیر پی اچ آب (pH) و دما قرار دارد و بطور کلی تحت شرایط پی اچ قلیائی و درجه حرارت تابستانی با بازدهی بسیار بیشتری انجام میشود.

در زمستان کاهش راندمان آمونیاک زدائی و یخ زدگی آب باید مورد توجه قرار بگیرد. .

این سیستم که برمبنای روشهای کلاسیک " دفع گاز " یا Gas Stripping است نسبت به سیستم های دیگر یعنی استفاده از نیتریفیکاسون کمتر مورد استفاده قرار میگیرد چون **آموتیاک وارد هوا** شده نیز خود معضلی میتواند محسوب گردد و طبق اطلاعات منتشر یافته بیشترین موارد استفاده ار آن در **آمریکا بوده است**.

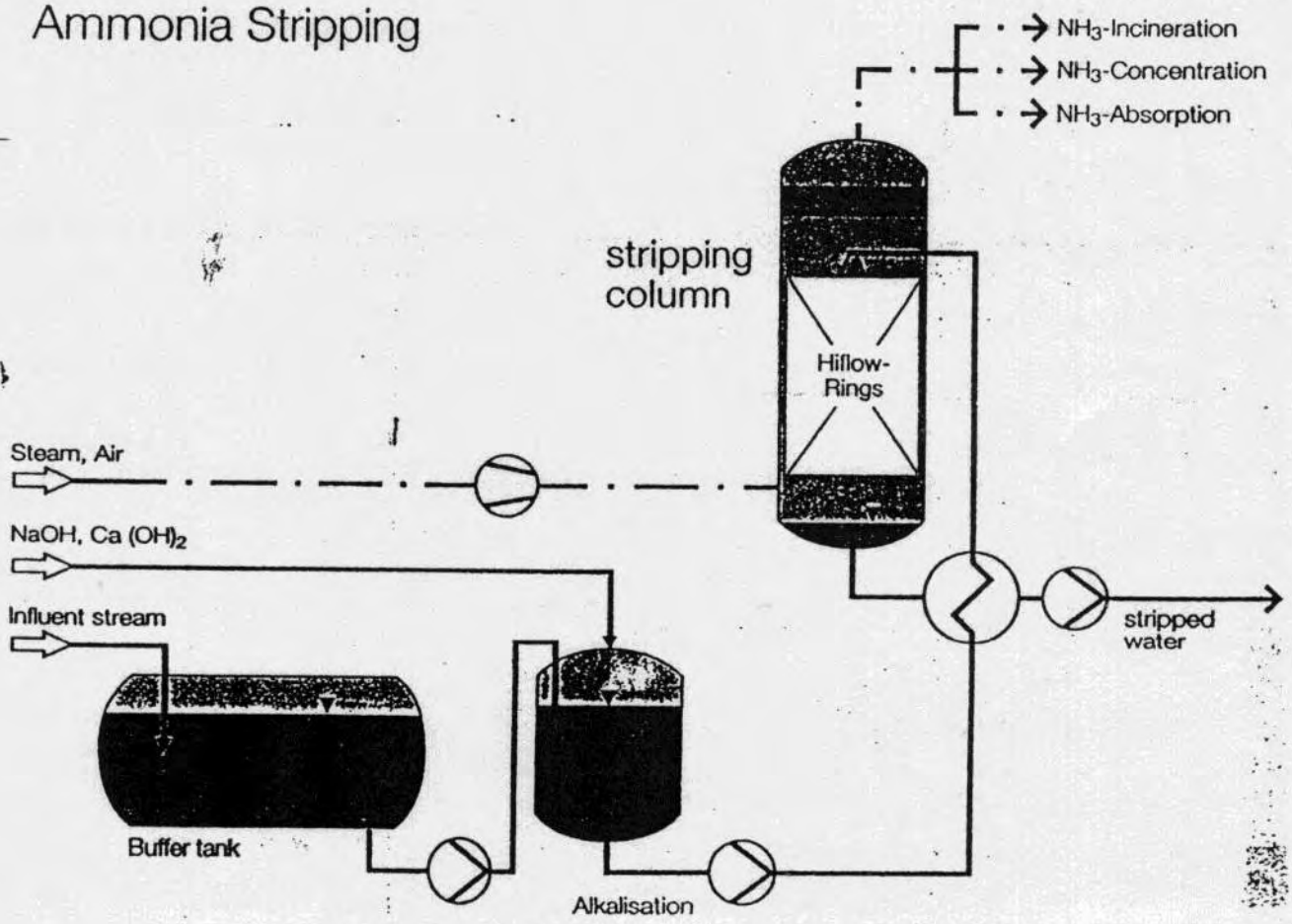


ammonia water.

هدف آمونیاک گیری

برجهای دفع

Ammonia Stripping



سیستم های تصفیه فاضلاب کوچک

در بسیاری از نقاط که دسترسی به سیستم فاضلاب شهری نیست و برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست نمیتوان فاضلاب را بدون تصفیه رها نمو د از سیستم های کوچک برای تصفیه استفاده میشود منجمله چاه هائی که در ایران به این منظور حفر میشوند نوعی سیستم دفع فاضلاب محسوب میشود که خود دارای اصولی است . و چنانچه طوری طرح شود که باعث آلودگی آبهای زیرزمینی نگردد در بعضی موارد قابل استفاده است. همچنین استفاده از مخزن سپتیک (Septic Tank) و یا مخزن ایمهوف (Imhoff Tank) و یا سایر سیستمهای مشابه در نقاط دور از شهرها و یا نقاطی که دارای شبکه جمع آوری و تصفیه خانه نیست مورد استفاده قرار میگیرد.

استفاده از تصفیه خانه های پیش ساخته نیز برای تصفیه فاضلاب بیمارستانها ، شهرکها ، صنایع کوچک و ... مرسوم میباشد.

مخزن سپتیک

مخزن سپتیک یک مخزن بتنی یا آجری است که در زمین ساخته میشود. فاضلا ب خانگی وارد این مخزن شده و ضمن طی کردن زمان ماند مشخصی در این مخزن ، با ته نشین شده مواد معلق و شناور و تجزیه بیولوژیکی بخشی از مواد آلی (تحت واکنشهای بی هوازی) فاضلاب را تا حدود ۵۰ الی ۶۰ درصد تصفیه مینماید (از غلظت بی او دی کم میشود). فاضلاب خروجی از سپتیک در حدی نیست که برای آبیاری استفاده شود و یا در رودخانه واریز شود ، ولی این فاضلاب را معمولا زیر سطح زمین پخش مینمایند تا موجب آلودگی نشود.

مخزن سپتیک برای نقاطی که امکان چاه زدن نیست (مثل شهرهای شمالی ایران که سطح آبهای زیر زمینی بسیار بالاست و یا در نقاطی که شبکه جمع آوری فاضلاب وجود ندارد) و در ضمن حجم فاضلاب نیز چندان نیست مورد استفاده قرار میدهند.

لجن انباشته شده در مخزن سپتیک هر شش الی یکسال یکبار جمع آوری و بنحو مناسبی دفع میگردد.

مخازن سپتیک بصورت یک مخزنه (یک انباره) یا دو بخشی (دوانباره) ساخته میشوند. (شکلهای ضمیمه)

در این مخازن ارتفاع مفید آب در حدود ۲ الی ۲/۵ متر و فضای روی سطح آب حدودا ۰/۶ متر در نظر گرفته میشود. نسبت طول مخزن به عرض آن (در مخازن سپتیک بزرگ) معمولا ۳ به یک است .

در مخازن دو انباره ، انباره اول که برای نگهداری و ذخیره لجن بکار برده میشود دارای حجمی معادل دو سوم کل حجم مخزن پسپتیک است.

حجم مخزن سپتیک معمولا برای یک یا چند واحد مسکونی از رابطه زیر (British Standard) محاسبه میشود :

$$V = 180\,P + 2000$$

در این رابطه P تعداد جمعیت (نفرات) میباشد و حجم مخزن ، V ، بر حسب لیتر بدست میآید.

برای مواردی که جمعیت بیشتری از سپتیک استفاده میکنند ، مثل مجتمعهای مسکونی با بیش از ۱۰ واحد و یا در نقاطی که امکان واریز سایر فاضلابها به سپتیک وجود دارد حجم مخزن بر مبنای حد اقل ۳ روز زمان ماند محاسبه میشود.

$$V = t \cdot Q = 3\,Q \qquad Q = v \cdot P$$

Q حجم فاضلاب روزانه ، v حجم فاضلاب سرانه ، P تعداد نفرات میباشند.

حداکثر بازدهی سپتیک های معمولی در شرایط عادی حدود ۴۵ و شاید ۵۰ در صد و در تابستان (هوای گرم) تا حدود ۵۵ در صد نیز میرسد بنابراین دفع فاضلاب خروجی از سپتیک باید با دقت انجام بگیرد تا آلودگی محیطی و بوی تعفن ایجاد نشود.

برای افزایش کارآئی این مخازن از بسترهای شنی و یا سایر تمهیدات نیز میتوان استفاده نمود.

مخزن ایمهوف

ایمهوف تانک و یا مخزن ایمهوف نیز مخزنی میباشد که بیشتر برای ته نشین سازی فاضلاب و هضم لجن ته نشین شده بطور تواما بکار برده میشود.
در این مخزن ، بخش ته نشین شده لجن جدا شده بطوریکه لجن در قسمت تحتانی تحت واکنشهای غیر هوازی قرار گرفته و تجزیه میگردد. گازهای متصاعد شده روی سطح آب ولی در فضای جدا شده ای جمع آوری شده و از طریق لوله ای در ارتفاع پخش میشوند تا آلودگی ایجاد نگردد.
مخزن ایمهوف معمولا بصورت کانالی شکل و با زمان ماند چند ساعته طرح میشوند و بیشتر مناسب فاضلابهائی هستند که دارای مواد معلق و شناور زیادی میباشند.
از مخازن ایمهوف این روزها کمتر استفاده میشود.

تصفیه خانه های یکپارچه و پیش ساخته

در بسیاری از موقعیت ها و برای رعایت استانداردها استفاده از یک سیستم تصفیه کامل ضروری میباشد. اگر حجم فاضلاب چندان زیاد نباشد ، استفاده از سیستم های یکپارچه که میتواند بصورت پیش ساخته و از جنس فلز باشد ، و یابصورت بتنی درمحل ساخته شود ، مرسوم است.
این نوع تصفیه خانه ها معمولا بر مبنای فرایند لجن فعال با هوادهی ممتد ساخته میشوند. مرحله ورودی فاضلاب ، مرحله هوادهی ، مرحله ته نشینی لجن و کلرزنی فاضلاب تصفیه شده در یک مجموعه متصل بهم ایجاد میشود.
سیستم هوادهی غالبا برمبنای هوادهی عمقی است ، زیرا با این روش نیاز به پمپ برای برگشت لجن نیز حذف شده و لجن با سیستم ایر لیفت به استخر هوادهی برگشت داده میشود.

سیستمهای یکپارچه از نوع بیوفیلتر نیز اخیرا بکار برده میشوند . در شکل های ضمیمه چند نوع از این سیستمها نشان داده شده اند.
لازم به ذکر است که در کلیه سیستمهای یکپارچه نیز اصول بکار رفته همان اصولی است که در کل فرایند بکار برده میشود و از این بابت هیچگونه تفاوتی با روشهای اصلی که در سطح وسیعتری اجرا میشوند ندارد.

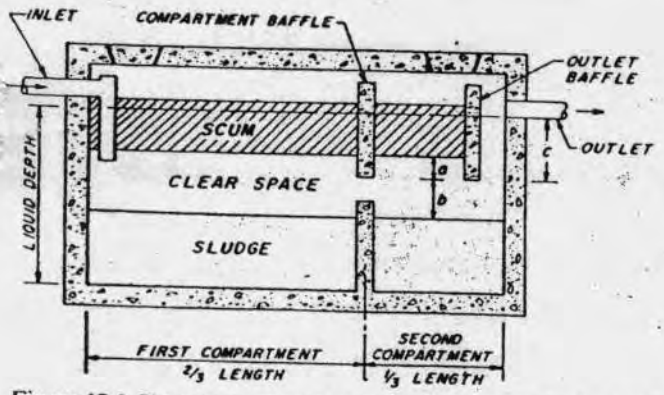


Figure 12.1 Two compartment septic tank: *a*, scum clear space (75 mm minimum); *b*, sludge clear space (300 mm minimum); *c* = 40 per cent of liquid depth [From Cotteral and Norris[3]]

مخزن سپتیک ۲ مرحله‌ای
ی
ستاول در دفع فاضلاب‌های ساختمان مسکونی
مرحله اول تقریبا 2/3 و مرحله دوم 1/3
حجم کل را تشکیل میدهد.