

ریاضیات

برای بهره‌برداران
تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وزارت نیرو



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

ریاضیات

(برای بهره‌برداران تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب)

Mathematics Manual for Water and Wastewater Treatment Plant Operators

مهندس واعظ تهرانی - امیرحسین آزادانیا



پاییز ۱۴۰۰



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

نام کتاب: ریاضیات (برای بهره‌برداران تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب)

مؤلف: شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

نوبت چاپ: اول، پاییز ۱۴۰۰

ناشر: انتشارات مکث نظر



فهرست مطالب

بخش اول: تبدیل واحدها و محاسبه‌های اولیه	۱۳
فصل اول: تبدیل واحدها	۱۴
۱-۱. واحدهای اندازه‌گیری و تبدیلی ها	۱۴
۲-۱. روابط بین وزن، غلظت و دبی	۲۱
۳-۱. دبی	۲۱
۴-۱. زمان ماند	۲۲
۵-۱. محاسبه‌های افزودنی‌های شیمیایی	۲۳
فصل دوم: محاسبه‌های جریان الکتریسته	۲۷
۱-۲. قانون اهم	۲۷
۲-۲. توان الکتریکی	۲۷
۳-۲. انرژی الکتریکی	۲۸
فصل سوم: محاسبه‌های محیط، مساحت و حجم	۳۱
۱-۳. محیط مستطیل و دایره	۳۱
۲-۳. مساحت مستطیل و دایره	۳۱
۳-۳. محاسبه‌ی مساحت سطح یک مخزن استوانه‌ای یا دایره‌ای	۳۱
۴-۳. محاسبه‌ی حجم یک مخزن مستطیلی	۳۲
۵-۳. محاسبه‌ی حجم یک مخزن استوانه‌ای	۳۲
۶-۳. محاسبه‌ی حجم لوله	۳۲
۷-۳. محاسبه‌ی حجم مخروط و کره	۳۲
فصل چهارم: پایستگی جرم و سنجش عملکرد تصفیه‌خانه	۳۶
۱-۴. پایستگی جرم برای حوضچه‌های ته‌نشینی	۳۶
۲-۴. محاسبه‌ی پایستگی جرم با استفاده از میزان حذف BOD	۳۷
۳-۴. سنجش عملکرد تصفیه‌خانه	۳۹
بخش دوم: محاسبه‌های تصفیه‌خانه‌های آب	۴۳

فصل پنجم: محاسبه‌های پمپ و پمپاژ	۴۴
۱-۵. نرخ پمپاژ	۴۴
فصل ششم: محاسبه‌های منابع تامین و مخازن ذخیره‌ی آب	۴۷
۱-۶. کاهش سطح آب چاه (Drawdown)	۴۷
۲-۶. دبی چاه	۴۷
۳-۶. دبی ویژه	۴۸
۴-۶. گذردایی جدار چاه	۴۸
۵-۶. تخمین حجم مخزن، دریاچه و حوضچه	۴۹
فصل هفتم: محاسبه‌های انعقاد و لخته‌سازی	۵۲
۱-۷. تعیین حجم حوضچه	۵۲
۲-۷. زمان ماند	۵۲
۳-۷. محاسبه‌های تنظیم تزریق کننده‌ی مواد شیمیایی خشک (kg/day)	۵۳
۴-۷. محاسبه‌های تنظیم تزریق کننده‌ی مواد شیمیایی محلول (L/day)	۵۳
۵-۷. تعیین درصد جرمی محلول با ماده‌ی حل شونده‌ی خشک	۵۴
۶-۷. تعیین درصد جرمی محلول با ماده‌ی حل شونده‌ی مایع	۵۴
۷-۷. تعیین درصد جرمی محلول تشکیل شده از ترکیب دیگر محلول‌ها	۵۵
۸-۷. کالیبراسیون دستگاه تزریق کننده‌ی مواد شیمیایی خشک	۵۵
۹-۷. کالیبراسیون دستگاه تزریق کننده‌ی مواد شیمیایی محلول	۵۶
۱۰-۷. مشخص کردن مقدار مصرف مواد شیمیایی	۵۷
فصل هشتم: محاسبه‌های زلال‌سازها	۶۱
۱-۸. تعیین حجم زلال‌سازهای مستطیلی و دایره‌ای	۶۱
۲-۸. تعیین زمان ماند	۶۱
۳-۸. بار سطحی زلال‌سازها	۶۲
۴-۸. سرعت متوسط جریان	۶۲
۵-۸. بار خطی سرریز زلال‌سازها	۶۳
۶-۸. درصد ته‌نشینی جامدات بیولوژیک	۶۳
۷-۸. تعیین دوز آهک (mg/L)	۶۴
۸-۸. تعیین دوز آهک (kg/day)	۶۶

فصل نهم: محاسبه‌ی صاف‌سازی	۶۹
۱-۹. نرخ صاف‌سازی	۶۹
۲-۹. محاسبه‌ی UFRV	۷۰
۳-۹. نرخ شست‌وشوی معکوس	۷۰
۴-۹. حجم آب شست‌وشو (m^3)	۷۱
۵-۹. ارتفاع تانک آب شست‌وشو (m)	۷۱
۶-۹. نرخ پمپاژ آب شست‌وشو (مترمکعب بر ساعت)	۷۲
۷-۹. درصد آب تولیدی برای شست‌وشو	۷۲
۸-۹. درصد حجم گلوله‌های گلی	۷۲
فصل دهم: محاسبه‌های کلرزنی	۷۶
۱-۱۰. تعیین دوز کلر	۷۶
۲-۱۰. محاسبه‌ی دوز کلر، کلر باقی‌مانده و کلر مورد نیاز	۷۷
۳-۱۰. محاسبه‌ی نقطه‌ی شکست کلر	۷۸
۴-۱۰. محاسبه‌ی نرخ تزریق هیپوکلریت خشک	۷۹
۵-۱۰. محاسبه‌ی نرخ تزریق محلول هیپوکلریت	۸۰
۶-۱۰. محاسبه‌ی درصد قدرت محلول هیپوکلریت تهیه شده از هیپوکلریت خشک	۸۱
۷-۱۰. محاسبه‌ی درصد قدرت محلول هیپوکلریت تهیه شده از هیپوکلریت مایع	۸۱
۸-۱۰. محاسبه‌ی مصرف مواد شیمیایی	۸۲
فصل یازدهم: محاسبه‌های سختی‌زدایی	۸۶
۱-۱۱. سختی آب	۸۶
۲-۱۱. محاسبه‌ی سختی کلسیم بر حسب $CaCO_3$	۸۶
۳-۱۱. محاسبه‌ی سختی منیزیم بر حسب $CaCO_3$	۸۶
۴-۱۱. محاسبه‌ی سختی کل	۸۷
۵-۱۱. محاسبه‌ی سختی کربناتی و بی‌کربناتی	۸۸
۶-۱۱. تعیین قلیائیت	۸۹
۷-۱۱. تعیین قلیائیت کربناتی، بی‌کربناتی و هیدروکسید	۹۰
۸-۱۱. محاسبه‌ی تعیین دوز آهک برای حذف سختی کربناتی	۹۱
۹-۱۱. محاسبه‌ی حذف سختی بی‌کربناتی	۹۲

۱۰-۱۱	محاسبه‌ی احیای کربن	۹۳
۹۷	بخش سوم: محاسبه‌های تصفیه‌خانه‌های فاضلاب	
۹۸	فصل دوازدهم: محاسبه‌های تصفیه‌ی مقدماتی	۹۸
۹۸	۱-۱۲. آشغالگیری	
۹۹	۲-۱۲. دانه‌گیری	
۱۰۴	فصل سیزدهم: محاسبه‌های تصفیه‌ی اولیه (ته‌نشینی)	۱۰۴
۱۰۴	۱-۱۳. محاسبه‌های کنترل فرآیند	
۱۱۰	فصل چهاردهم: محاسبه‌های صافی چکنده	۱۱۰
۱۱۰	۱-۱۴. نرخ بارگذاری هیدرولیکی	
۱۱۰	۲-۱۴. نرخ بارگذاری مواد آلی	
۱۱۱	۳-۱۴. میزان حذف BOD و SS	۱۱۱
۱۱۴	فصل پانزدهم: محاسبه‌های صفحات چرخان زیستی (RBC)	۱۱۴
۱۱۴	۱-۱۵. نرخ بارگذاری هیدرولیکی	
۱۱۴	۲-۱۵. BOD محلول	
۱۱۵	۳-۱۵. نرخ بارگذاری آلی	۱۱۵
۱۱۹	فصل شانزدهم: جامدات بیولوژیکی فعال	۱۱۹
۱۱۹	۱-۱۶. میانگین انتقال	
۱۱۹	۲-۱۶. بار BOD و COD	
۱۲۰	۳-۱۶. مقدار جامدات	۱۲۰
۱۲۰	۴-۱۶. نسبت غذا (F) به میکروارگانیسم‌ها (M) (نسبت F/M)	
۱۲۲	۵-۱۶. مقدار MLVSS مورد نیاز (kg)	۱۲۲
۱۲۳	۶-۱۶. محاسبه‌های میزان دفع لجن با استفاده از نسبت F/M	۱۲۳
۱۲۴	۷-۱۶. زمان ماند لجن (SRT)	۱۲۴
۱۲۵	۸-۱۶. تعیین مقدار دفع لجن	۱۲۵
۱۲۵	۹-۱۶. تعیین دبی دفع لجن	۱۲۵
۱۲۶	۱۰-۱۶. تخمین نرخ بازگشت با استفاده از درصد لجن ته‌نشین شده در مدت ۶۰ دقیقه	۱۲۶
۱۲۷	۱۱-۱۶. شاخص حجمی لجن (SVI)	۱۲۷
۱۲۸	۱۲-۱۶. تعادل جرم، جامدات معلق حوضچه‌ی ته‌نشینی	۱۲۸
۱۳۴	فصل هفدهم: محاسبه‌های برکه‌های تثبیت	۱۳۴

۱۳۴.....	۱-۱۷. زمان ماند هیدرولیکی
۱۳۴.....	۲-۱۷. بار BOD
۱۳۵.....	۳-۱۷. نرخ بارگزاری آلی
۱۳۵.....	۴-۱۷. کارآمدی حذف BOD
۱۳۸.....	فصل هجدهم: محاسبه‌های مصرف مواد شیمیایی
۱۴۱.....	فصل نوزدهم: تولید لجن و محاسبه‌ی پمپاژ
۱۴۱.....	۱-۱۹. محاسبه‌ی میزان لجن تولید شده در واحد ته‌نشینی اولیه
۱۴۲.....	۲-۱۹. محاسبه‌ی میزان لجن تولید شده در واحد ته‌نشینی ثانویه
۱۴۲.....	۳-۱۹. درصد جامدات
۱۴۲.....	۴-۱۹. پمپاژ جامدات بیولوژیک
۱۴۳.....	۵-۱۹. تولید جامدات بیولوژیک بر حسب کیلوگرم به ازای هر متر مکعب
۱۴۳.....	۶-۱۹. تولید جامدات بیولوژیک بر حسب تن در سال
۱۴۴.....	۷-۱۹. زمان پمپاژ جامدات بیولوژیک
۱۴۴.....	۸-۱۹. جامدات بیولوژیک پمپاژ شده بر حسب متر مکعب بر روز
۱۴۴.....	۹-۱۹. جامدات بیولوژیک پمپاژ شده بر حسب کیلوگرم بر روز
۱۴۵.....	۱۰-۱۹. جامدات پمپاژ شده بر حسب کیلوگرم بر روز
۱۴۵.....	۱۱-۱۹. مواد فرار پمپاژ شده بر حسب کیلوگرم بر روز
۱۴۵.....	۱۲-۱۹. مقدار کیلوگرم جامدات در روز/ مقدار کیلوگرم مواد فرار در روز
۱۴۹.....	فصل بیستم: محاسبه‌های تغلیظ لجن
۱۴۹.....	۱-۲۰. محاسبه‌های واحد تغلیظ ثقی و واحد تغلیظ شناورسازی با هوا
۱۵۴.....	فصل بیست و یکم: محاسبه‌های هاضم لجن
۱۵۴.....	۱-۲۱. محاسبه‌های کنترل فرآیند هاضم هوازی
۱۵۵.....	۲-۲۱. محاسبه‌های کنترل فرآیند هاضم بی‌هوازی
۱۶۰.....	فصل بیست و دو: آبگیری لجن و دفع
۱۶۰.....	۱-۲۲. محاسبه‌های صافی فشاری (فیلتر پرس)
۱۶۳.....	۲-۲۲. محاسبه‌های صافی خلا چرخان
۱۶۵.....	۳-۲۲. محاسبه‌های آبگیری بسترهای ماسه‌ای
۱۶۶.....	۴-۲۲. دفع لجن

پیشگفتار

محاسبات ریاضی پایه و تخصصی برای همه بهره برداران سامانه های آب و فاضلاب به منظور حل مشکلات فنی فرآیندها، لازم و ضروری است. رویکرد ویژه به شیوه های بهره برداری با هدف بهبود مستمر عملکرد از مشخصه های جوامع توسعه یافته است. ارتقای شیوه های بهره برداری و حل بسیاری از مشکلات نیازمند انجام محاسبات ریاضی دقیق و آگاهی از روبه های فنی حاکم بر فرآیندهاست.

این موضوع شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور را بر آن داشت تا در ادامه توسعه آموزشهای کاربردی و مدیریت دانش، اقدام به تهیه و تدوین کتاب ریاضیات (برای بهره برداران تصفیه خانه های آب و فاضلاب) نماید که در ۲۲ فصل کلیه محاسبات ریاضی کاربردی پایه و تخصصی حاکم بر فرآیندهای آب و فاضلاب را بیان می کند. ضمن تشکر از زحمات سرکار خانم دکتر مهسا واعظ تهرانی و آقای مهندس امیرحسین آزادنیا در تهیه و تدوین این کتاب، امیدوارم کتاب مذکور گامی در جهت ارتقای دانش ریاضی و محاسبات در سامانه های آب و فاضلاب باشد. ذکر این نکته ضروری است دریافت نظرات و پیشنهادات اصلاحی همکاران موجب ارتقای نسخه های آتی این کتاب خواهد شد.

سیدحمیدرضا کشفی

معاون راهبری و نظارت بر بهره برداری

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

پاییز ۱۴۰۰

بخش اول

تبدیل واحدها و محاسبه‌های اولیه



فصل اول: تبدیل واحدها

۱-۱. واحدهای اندازه‌گیری و تبدیل‌ها

هم‌چون دیگر کارهای مهندسی، محاسبات و سنجش‌های مرتبط با صنعت آب و فاضلاب با واحدهای اندازه‌گیری همراه و عجین هستند. در هر اندازه‌گیری، اشاره به واحد آن الزامی است. این امر آگاهی از واحدهای اندازه‌گیری و نحوه‌ی استفاده از آن‌ها را ضروری می‌سازد. راهبران و بهره‌برداران تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب باید با نظام انگلیسی (آمریکایی) و نظام بین‌المللی آحاد (SI) آشنایی داشته باشند. در جدول ۱-۱ تعدادی از واحدهای مهم به صورت خلاصه آورده شده است.

جدول ۱-۱: واحدهای معمول در نظام SI و انگلیسی

کمیت	واحد SI	واحد انگلیسی
طول	متر (m)	فوت (ft)
جرم	کیلوگرم (kg)	پوند (lb)
دما	سلسیوس (°C)	فارنهایت (F)
مساحت	متر مربع (m ²)	فوت مربع (ft ²)
حجم	متر مکعب (m ³)	فوت مکعب (ft ³)
انرژی	کیلوژول (Kj)	واحد حرارتی انگلیسی (Btu)
توان	وات (W)	بی‌تی‌یو بر ساعت (Btu/hr)
سرعت	متر/ثانیه (m/s)	مایل/ساعت (Mile/hr)

در صنعت آب و فاضلاب، امکان مواجه با مقادیر بسیار زیاد و یا بسیار کم وجود دارد. به طور مثال، غلظت بعضی از مواد سمی به صورت قسمت در میلیون^۱ (ppm) و یا قسمت در میلیارد^۲ (ppb) بیان می‌شود و استفاده از ضرایب مثبت و منفی رایج است. در جدول ۱-۲ برخی از این ضرایب پیشوند آورده شده‌اند. همچنین در جدول ۱-۳ ضرایب تبدیل آورده شده‌اند. در این جدول سه ستون وجود دارد. در ستون سمت چپ واحد اولیه، در ستون سمت راست واحد ثانویه، و ستون میانی، ضریب تبدیل واحد اولیه به ثانویه است. به این صورت که حاصل ضرب مقدار دلخواه از واحد اولیه در ضریب تبدیل آن، برابر با مقدار در واحد ثانویه می‌شود. به همین ترتیب با تقسیم مقدار ثانویه بر ضریب تبدیل، مقدار اولیه به دست می‌آید.

1. Part per million
2. Part per billion

جدول ۱-۲: ضرایب مثبت و منفی رایج در نظام SI

ردیف	پیشوند	کمیت	نماد	ردیف	پیشوند	کمیت	نماد
۱	یوتا	$۱۰^{۲۴}$	Y	۱۱	دسی	$۱۰^{-۱}$	d
۲	زتا	$۱۰^{۲۱}$	Z	۱۲	سانتی	$۱۰^{-۲}$	c
۳	اگزا	$۱۰^{۱۸}$	E	۱۳	میلی	$۱۰^{-۳}$	m
۴	پتا	$۱۰^{۱۵}$	P	۱۴	میکرو	$۱۰^{-۶}$	μ
۵	ترا	$۱۰^{۱۲}$	T	۱۵	نانو	$۱۰^{-۹}$	m
۶	گیگا	$۱۰^۹$	G	۱۶	پیکو	$۱۰^{-۱۲}$	p
۷	مگا	$۱۰^۶$	M	۱۷	فمتو	$۱۰^{-۱۵}$	f
۸	کیلو	$۱۰^۳$	k	۱۸	آتو	$۱۰^{-۱۸}$	a
۹	هکتو	$۱۰^۲$	h	۱۹	زپتو	$۱۰^{-۲۱}$	z
۱۰	دکا	۱۰	da	۲۰	یوکتو	$۱۰^{-۲۴}$	y

جدول ۱-۳: واحدهای اندازه‌گیری متعارف و ضرایب تبدیل آن‌ها

واحد اولیه $\times$ ضریب تبدیل = واحد ثانویه

واحد ثانویه $\div$ ضریب تبدیل = واحد اولیه

واحد اولیه	ضریب تبدیل	واحد ثانویه
واحدهای طول		
cm (سانتی‌متر)	0.0328	ft
	0.394	in.
	10,000	m μ
	100,000,000	$\text{\AA}$ (آنگستروم)
ft (فوت)	30.48	cm
	12	in.
	0.3048	m
in. (اینچ)	2.54	cm
km (کیلومتر)	3280.8	ft
m (متر)	10^{10}	$\text{\AA}$ (آنگستروم)
	100	cm
	3.28	ft
	39.37	in.
	10^{-3}	km
	1000	mm
	1,000,000	m μ
	10^9	nm





واحدهای مساحت		
ft ²	1.076×10 ⁻³	cm ² (سانتی‌متر مربع)
in. ²	0.155	
m ²	10 ⁻⁴	
ac (هکتار آمریکایی)	2.296×10 ⁻⁵	ft ² (فوت مربع)
cm ²	929.03	
in. ²	144	
m ²	0.0929	
ft ²	10.76	m ² (متر مربع)
in. ²	1550	
ac	640	mi ² (مایل مربع)
ft ²	2.79×10 ⁷	
m ²	2.59×10 ⁶	
واحدهای حجم		
ft ³	3.53×10 ⁻⁵	cm ³ (cc، سانتی‌متر مکعب)
in. ³	0.061	
gal (گالن)	2.64×10 ⁻⁴	
L	0.001	
mL	1	
cm ³	28,317	ft ³ (فوت مکعب)
in. ³	1728	
m ³	0.0283	
gal	7.48	
L	28.32	
qt (کوارتز)	29.92	in. ³ (اینچ مکعب)
cm ³	16.39	
mL	16.39	
ft ³	5.79×10 ⁻⁴	
m ³	1.64×10 ⁻⁵	
gal	4.33×10 ⁻³	
L	0.0164	m ³ (متر مکعب)
cm ³	1,000,000	
ft ³	35.31	
in. ³	61,023	
gal	264.17	
L	1000	

gal	201.97	yd ³ (یارد)
L	764.55	
cm ³	3785	gal (گالن)
ft ³	0.134	
in. ³	231	
L	3.785	
cm ³	1000	
dm ³	1	L (لیتر)
ft ³	0.0353	
in. ³	61.02	
gal	0.264	
mL	1000	
qt (کوآرتز)	1.057	
cm ³	946.4	
in. ³	57.75	
L	0.946	
واحدهای جرم		
kg	0.001	g (گرم)
mg	1000	
ng	1,000,000	
lb	10 ⁻³ ×2.205	
grains	15.43	
J (ژول)	10 ¹³ ×8.99	
g	1000	kg (کیلوگرم)
lb	2.205	
g	453.59	lb (پوند)
kg	0.45359	
oz. (ounces)	16	
واحدهای زمان		
hr (ساعت)	24	day (روز)
min (دقیقه)	1440	
sec (ثانیه)	86,400	
wk (هفته)	0.143	
yr (سال)	10 ⁻³ × 2.738	





day (روز)	0.0417	hr (ساعت)
min (دقیقه)	60	
sec (ثانیه)	3600	
wk (هفته)	5.95×10^{-3}	
yr (سال)	1.14×10^{-4}	
day (روز)	6.94×10^{-4}	min (دقیقه)
hr (ساعت)	0.0167	
sec (ثانیه)	60	
wk (هفته)	9.92×10^{-5}	
yr (سال)	1.90×10^{-6}	
day (روز)	7	wk (هفته)
hr (ساعت)	168	
min (دقیقه)	10,080	
sec (ثانیه)	6.048×10^5	
yr (سال)	0.0192	
day (روز)	365.25	yr (سال)
hr (ساعت)	8766	
min (دقیقه)	5.26×10^5	
sec (ثانیه)	3.16×10^7	
wk (هفته)	52.18	
واحدهای کار یا انرژی		
cal	252	(واحد حرارتی انگلیسی، بی تی یو) Btu
J	1055.06	
L-atm (لیتر - اتمسفر)	10.41	
Wh	0.293	
Btu	3.97×10^{-3}	cal (کالری)
J	4.18	
L-atm (لیتر - اتمسفر)	0.0413	
Wh	1.163×10^{-3}	
J	1.602×10^{-19}	eV (الکترون-ولت)
Btu	9.48×10^{-4}	J (ژول)
cal	0.239	
L-atm (لیتر - اتمسفر)	9.87×10^{-3}	
N-m (newton-meter)	1.00	

Btu	3.97	kcal (کیلو کالری)
cal	1000	
J	4186.8	
Btu	3412.14	kWh (کیلو وات ساعت)
J	3.6×10^6	
kcal	859.8	
J	1.00	N-m (نیوتن - متر)
Wh	2.78×10^{-4}	
Btu	3.412	Wh (وات ساعت)
cal	859.8	
J	3600	
L-atm (لیتر-اتمسفر)	35.53	
واحدهای توان		
J/sec	745.7	hp (اسب بخار)
Btu/min	56.87	kW (کیلو وات)
hp	1.341	
J/sec	1000	
Btu/hr	3.41	W (وات)
hp	1.341×10^{-3}	
J/sec	1.00	
واحدهای فشار		
bar	1.013	atm (اتمسفر)
N/cm ²	10.133	
kPa	101.325	
mmHg	760	bar (بار)
atm	0.987	
Pa	$10^5 \times 1$	
mmHg	750.06	mmHg (میلی متر جیوه)
atm	1.316×10^{-3}	
mb (میلی بار)	1.33	
Pa	133.32	pascal (پاسکال)
atm	9.87×10^{-6}	
mb (میلی بار)	0.01	
mmHg	7.5×10^{-3}	





atm	0.068	psi (پوند بر اینچ مربع)
mb (میلی‌بار)	68.85	
mmHg	51.71	
Pa	6894.76	
واحدهای سرعت		
km/h	1.097	fps (فوت بر ثانیه)
m/s	0.305	
miles/h	0.01136	
feet/minutes	196.9	m/s (متر بر ثانیه)
km/h	3.6	
miles/h	2.237	
feet/minutes	88	miles/h (مایل بر ساعت)
km/h	1.61	
m/s	0.447	
واحدهای چگالی		
lb/ft³	62.43	g/cm³ (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
lb/in.³	0.0361	
lb/gal	8.345	
g/L	16.02	lb/ft³ (پوند بر فوت مکعب)
g/cm³	27.68	lb/in.³
lb/ft³	1.728	(پوند بر اینچ مکعب)
واحدهای غلظت		
g/m³ (گرم بر مترمکعب)	1	mg/L (میلی‌گرم بر لیتر)
mL/m³	1	ppm (قسمت در میلیون - حجمی)
mg/kg	1	ppm (قسمت در میلیون - وزنی)
واحدهای دبی		
m³/s (متر مکعب بر ثانیه)	0.00001	m³/day (متر مکعب بر روز)
m³/min (متر مکعب بر دقیقه)	0.0007	
m³/hr (متر مکعب بر ساعت)	0.0416	
L/s (لیتر بر ثانیه)	0.00001	L/day (لیتر بر روز)
L/min (لیتر بر دقیقه)	0.0007	
L/hr (لیتر بر ساعت)	0.0416	

L/day (لیتر بر روز)	1000	m ³ /day (متر مکعب بر روز)
L/s (لیتر بر ثانیه)	0.0115	
L/min (لیتر بر دقیقه)	0.6944	
L/hr (لیتر بر ساعت)	41.666	
L/day (لیتر بر روز)	1440000	m ³ /min (متر مکعب بر دقیقه)
L/s (لیتر بر ثانیه)	16.666	
L/min (لیتر بر دقیقه)	1000	
L/hr (لیتر بر ساعت)	60000	
L/day (لیتر بر روز)	86400000	m ³ /s (متر مکعب بر ثانیه)
L/s (لیتر بر ثانیه)	1000	
L/min (لیتر بر دقیقه)	60000	
L/hr (لیتر بر ساعت)	3600000	
L/day (لیتر بر روز)	24000	m ³ /hr (متر مکعب بر ساعت)
L/s (لیتر بر ثانیه)	0.2777	
L/min (لیتر بر دقیقه)	16.666	
L/hr (لیتر بر ساعت)	1000	

۲-۱. روابط بین وزن، غلظت و دبی

رابطه‌ی پایه بین وزن، غلظت و دبی به صورت زیر می‌باشد. همچنین در جدول ۴-۱ نمونه‌ای از محاسبه‌ها آورده شده است.

$$\text{وزن} = \text{غلظت} \times (\text{دبی یا حجم}) \times \text{ضریب تبدیل}$$

جدول ۴-۱: برخی محاسبات مرتبط با وزن، غلظت و دبی

واحد مد نظر	نحوه محاسبه
Milligrams/liter	$(lb) \times 8.34 \text{ lb/MG/mg/L}$
Kilograms/liter	$(\text{MG میلیون گالون}) \times 3.785 \text{ L/gal}$
Kilograms/day	$(\text{MGD میلیون گالون در روز}) \times 3.785 \text{ L/gal}$

۳-۱. دبی

برای محاسبه‌ی دبی جریان در یک کانال از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$Q \text{ (m}^3/\text{s)} = A \text{ (m}^2) \times v \text{ (m/s)}$$





Q: دبی

A: مساحت مقطع کانال

v: سرعت جریان در کانال

واحد دبی به واحدهای دیگر با توجه به ضرایب تبدیل جدول ۱-۳ تبدیل می شود.

با رابطه زیر می توان دبی را برای یک لوله محاسبه کرد:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0.785 \times D^2 \text{ (m)} \times v \text{ (m/s)}$$

Q: دبی

D: قطر لوله

v: سرعت جریان درون لوله

۴-۱. زمان ماند

زمان ماند، به مدت زمانی بر حسب دقیقه یا ساعت گفته می شود که آب از لحظه ورود تا لحظه خروج در حوضچه و یا بستر حامل آن سپری می کند. همچنین از این پارامتر برای مدت زمان لازم برای پر کردن مخزن نیز استفاده می شود. معمولاً زمان ماند برای حوضچه ها یا مخازن زیر محاسبه می شود.

- حوضچه های انعقاد (ثانیه)
- حوضچه های لخته سازی (دقیقه)
- حوضچه های ته نشینی یا زلال سازها (ساعت)
- برکه های تصفیه ی فاضلاب (روز)
- واحدهای اکسایش (ساعت)

برای محاسبه ی زمان ماند، ابتدا حجم حوضچه محاسبه و سپس بر میزان دبی حوضچه تقسیم می شود:

$$h \text{ (زمان ماند)} = \frac{\text{حجم حوضچه (m}^3\text{)}}{\text{دبی (}\frac{\text{m}^3}{h}\text{)}}$$

اگر زمان ماند بر حسب دقیقه، ثانیه و یا روز مورد نیاز باشد، باید از دبی متناظر استفاده کرد:

$$s \text{ (زمان ماند)} = \frac{\text{حجم حوضچه (m}^3\text{)}}{\text{دبی (}\frac{\text{m}^3}{s}\text{)}}$$

$$\text{min (زمان ماند)} = \frac{\text{حجم حوضچه (m}^3\text{)}}{\text{دبی (}\frac{\text{m}^3}{\text{min}}\text{)}}$$

$$\text{day (زمان ماند)} = \frac{\text{حجم حوضچه (m}^3\text{)}}{\text{دبی (}\frac{\text{m}^3}{\text{day}}\text{)}}$$

برای مثال، زمان ماند برای حوضچه‌ای با طول، عرض و عمق به ترتیب ۲۰، ۸، ۴ متر و دبی جریان m^3/h ۶۸ برابر است با:

$$(h) \text{ زمان ماند} = \frac{20m \times 8m \times 4m}{68 \left(\frac{m^3}{h} \right)} = 9.4h$$

اگر به این حوضچه کلر افزوده شود، زمان تماس حدود ۹ ساعت است. بنابراین در تعیین ضریب CT که میزان موثر بودن کلر را مشخص می‌کند، زمان ماند باید محاسبه شود.

۵-۱. محاسبه‌های افزودنی‌های شیمیایی

یکی از کارهای جاری و مهم بهره‌برداران، افزودن مواد شیمیایی در بخش‌های مختلف تصفیه‌خانه است. در این قسمت به محاسبه‌های مرتبط با افزودنی‌های شیمیایی با شرایط مختلف پرداخته می‌شود.

۱-۵-۱. تعیین میزان افزودن مواد شیمیایی در حالت خلوص کامل (۱۰۰ درصد)

$$\text{Chemical (kg/day)} = \text{required dose (mg/L)} \times \text{Flow (m}^3/\text{day)} \div 1000$$

Chemical: ماده شیمیایی required dose: دوز مورد نیاز Flow: دبی

۲-۵-۱. تعیین میزان افزودن مواد شیمیایی ناخالص (Inactive)

$$\text{Required amount (kg/day)} = \frac{\text{افزودنی شیمیایی در حالت خلوص } 100\%}{\text{میزان خلوص ماده (درصد)}} \times \text{Required amount (kg/day)}$$

required amount: مقدار مورد نیاز

مثال ۱-۱. به منظور حذف مطلوب فسفر، ۸۰ کیلوگرم کلروفریک به دبی روزانه باید افزوده شود. میزان خلوص کلروفریک ۶۶ درصد است. چند کیلوگرم از محلول مورد نیاز است؟

$$\text{Required amount} \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{80 \frac{kg}{day}}{66\%} = 121 \text{ kg/day}$$

required amount: مقدار مورد نیاز

۳-۵-۱. میزان افزودن مواد شیمیایی در حالت خشک

زمانی که مواد شیمیایی به صورت خشک (گرانول، پودر و ...) افزوده می‌شود، نرخ افزودن آن، به صورت گرم بر دقیقه نیز بیان می‌شود.

$$(g/min) \text{ نرخ افزودن مواد خشک} = \frac{\text{Required amount (kg/day)} \times 1000 \text{ g/kg}}{1440 \frac{min}{day}}$$

required amount: مقدار مورد نیاز



مثال ۲-۱. یک تصفیه‌خانه ۱۱۵ کیلوگرم در روز پودر پرکلرین به آب باید اضافه کند. نرخ تزریق مورد نیاز بر حسب گرم بر دقیقه چقدر است؟

$$\text{نرخ افزودن مواد خشک} \left(\frac{g}{min} \right) = \frac{115 \text{ kg/day} \times 1000 \text{ g/kg}}{1440 \text{ min/day}} = 80 \text{ g/min}$$

۴-۵-۱. میزان افزودن مواد شیمیایی در حالت مایع

اگر افزودن ماده‌ی شیمیایی به صورت مایع باشد، میزان مورد نیاز (گرم، کیلوگرم و ...) باید به حجم معادل (لیتر، میلی لیتر و ...) تبدیل شود. سپس این حجم به نرخ تزریق که متناسب با دستگاه تزریق کننده است، باید تبدیل شود (لیتر/روز، میلی لیتر/دقیقه و ...). معمولاً وزن یک لیتر از ماده‌ی شیمیایی بر روی برچسب ظرف نگاه‌دارنده‌ی آن مشخص شده است. در غیر این صورت، وزن هر لیتر ماده را از وزن مخصوص آن می‌توان محاسبه کرد.

$$\text{نرخ افزودن} (L/day) = \frac{\text{Required amount (kg/day)}}{\text{وزن} \left(\frac{kg}{L} \right)}$$

$$\text{نرخ افزودن} (L/min) = \frac{\text{Required amount (kg/day)}}{\text{وزن} \left(\frac{kg}{L} \right) \times 1440 \left(\frac{min}{day} \right)}$$

$$\text{نرخ افزودن} (mL/min) = \frac{\text{Required amount} \left(\frac{kg}{day} \right) \times 1000 \left(\frac{mL}{L} \right)}{\text{وزن} \left(\frac{kg}{L} \right) \times 1440 \left(\frac{min}{day} \right)}$$

مثال ۳-۱. به منظور حذف فسفر، روزانه ۳۷۰ کیلوگرم از محلول کلروفریک به جریان باید تزریق شود. وزن محلول کلروفریک ۱/۳۳ کیلوگرم بر لیتر می‌باشد. نرخ تزریق این محلول بر حسب میلی لیتر بر دقیقه چه میزان می‌باشد؟

$$\text{نرخ افزودن} \left(\frac{mL}{min} \right) = \frac{370 \left(\frac{kg}{day} \right) \times 1000 \left(\frac{mL}{L} \right)}{1/33 \left(\frac{kg}{L} \right) \times 1440 \left(\frac{min}{day} \right)} = 193 \left(\frac{mL}{min} \right)$$





فصل دوم: محاسبه‌های جریان الکتریسته

۱-۲. قانون اهم

قانون اهم بیانگر رابطه بین شدت جریان، ولتاژ و مقاومت الکتریکی است و به صورت زیر بیان می‌شود:

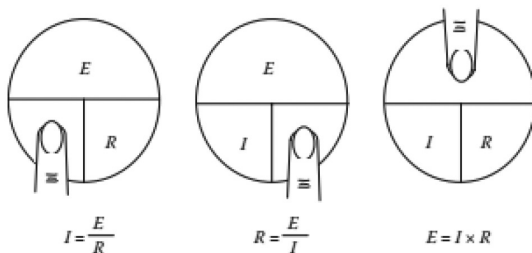
$$I = \frac{E}{R}$$

I: جریان الکتریکی بر حسب آمپر

E: ولتاژ جریان بر حسب ولت

R: مقاومت بر حسب اهم

به منظور یادآوری هر چه بهتر این رابطه، از دایره‌ی قانون اهم به صورت زیر می‌توان استفاده کرد.



شکل ۱-۲: دایره قانون اهم

۲-۲. توان الکتریکی

توان عبارت است از نرخ انجام کار. بنابراین استفاده از توان در یک تصفیه‌خانه متناسب با شدت جریان می‌باشد. توان الکتریکی (P) در هر قسمت از مدار برابر با روابط زیر می‌باشد:

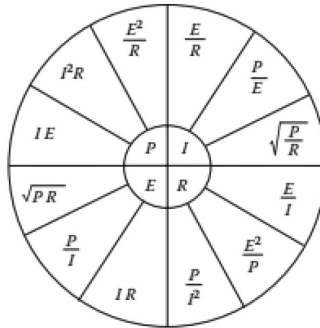
$$P = E \times I$$

$$P = R \times I^2$$

$$P = \frac{E^2}{R}$$



در شکل زیر، روابط مطرح شده به صورت خلاصه آورده شده است.



شکل ۲-۲: روابط بین توان الکتریکی، مقاومت، شدت جریان و ولتاژ

۳-۲. انرژی الکتریکی

انرژی، توانایی انجام کار تعریف می شود. واحد قابل استفاده برای مقادیر زیاد انرژی الکتریکی و یا کار، کیلووات - ساعت (kWh) می باشد. میزان کیلووات - ساعت به صورت زیر محاسبه می شود.

$$kWh = kW \times hr$$

مثال ۱-۲. چه میزان انرژی در ۴ ساعت توسط یک ژنراتور ۱۲ کیلوواتی تولید می شود؟

$$kWh = kW \times hr = 12 \times 4 = 48 kWh$$



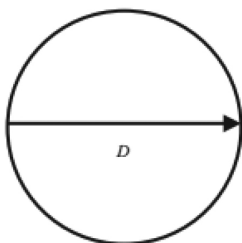




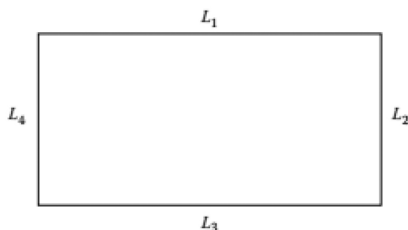
فصل سوم: محاسباتی محیط، مساحت و حجم

۱-۳. محیط مستطیل و دایره

در رابطه‌های زیر نحوه‌ی محاسبه‌ی محیط دایره و مستطیل نشان داده شده است.



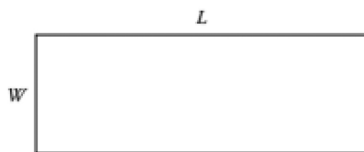
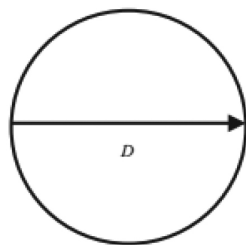
$$\text{محیط دایره} = D \times \pi$$



$$\text{محیط مستطیل} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

۲-۳. مساحت مستطیل و دایره

مساحت مستطیل و دایره در رابطه‌های زیر مشخص شده است.



$$\text{مساحت مستطیل} = L \times W$$

$$\text{مساحت دایره} = 0.785 \times D^2$$

۳-۳. محاسبه‌ی مساحت سطح یک مخزن استوانه‌ای یا دایره‌ای

در صورتی که نیاز به رنگ‌آمیزی جدار یک مخزن استوانه‌ای یا دایره‌ای باشد، محاسبه‌ی مساحت سطح آن برای تعیین میزان رنگ لازم است. با رابطه‌ی زیر مساحت سطح یک مخزن استوانه‌ای یا دایره‌ای با قطر D و ارتفاع H را می‌توان محاسبه کرد.

$$\text{مساحت سطح مخزن دایره‌ای یا استوانه‌ای} = \pi \times D \times H$$

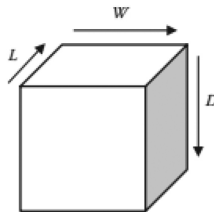


مثال ۱-۳. برای محاسبه‌ی میزان رنگ لازم برای رنگ‌آمیزی یک مخزن استوانه‌ای در صورتی که مساحت قسمت بالایی آن $۲۸/۲۶$ مترمربع و قطر و ارتفاع آن نیز به ترتیب ۶ و ۸ متر باشند، مساحت سطح مخزن چند متر مربع است؟

$$\text{مساحت سطح مخزن استوانه‌ای} = \pi \times ۶ \times ۸ = ۱۵۰/۷۲ \text{ m}^2$$

۴-۳. محاسبه‌ی حجم یک مخزن مستطیلی

حجم یک مخزن مستطیلی از حاصل ضرب طول (L) در عرض (W) و ارتفاع (H) (یا عمق) آن محاسبه می‌شود.



$$V = L \times W \times H$$

۵-۳. محاسبه‌ی حجم یک مخزن استوانه‌ای

حجم یک مخزن استوانه‌ای از حاصل ضرب مساحت سطح مقطع (A) در ارتفاع (H) آن، طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$V = H \times \pi \times r^2$$

در این رابطه r شعاع استوانه می‌باشد.

۶-۳. محاسبه‌ی حجم لوله

حجم لوله از رابطه زیر مشخص می‌شود.

$$V = L \times \pi \times r^2$$

که در آن L طول لوله و r شعاع لوله می‌باشد.

۷-۳. محاسبه‌ی حجم مخروط و کره

حجم مخروط و کره از روابط زیر مشخص می‌شوند.

$$V_{\text{مخروط}} = D^2 \times \frac{\pi}{12} \times H$$

$$V_{\text{کره}} = \frac{\pi}{6} \times D^3$$



در روابط بالا، D قطر کره یا مخروط و H ، ارتفاع مخروط می باشد.
در جدول زیر خلاصه ای از محاسبه ی حجم شکل های مختلف آورده شده است.

جدول ۱-۳: خلاصه ی محاسبه های مربوط به ابعاد

حجم	شکل
$V_{کره} = \frac{\pi}{6} \times D^3$	کره
$V_{مخروط} = D^2 \times \frac{\pi}{12} \times H$	مخروط
$L \times W \times H$	مخزن مستطیلی
$V = H \times \pi \times r^2$	استوانه









فصل چهارم: پایستگی جرم و سنجش عملکرد تصفیه خانه

ماده نه به وجود می آید و نه از بین می رود. این فرضیه مهم به ما کمک می کند تا مواد را (مانند آلودگی ها، میکروارگانایسم ها، مواد شیمیایی و ...) از مکانی به مکان دیگر رصد کنیم. در راهبری تصفیه خانه ها (به خصوص تصفیه خانه های فاضلاب)، از تعادل بین مواد ورودی و خروجی واحدهای تصفیه، استفاده می شود. به عبارتی هر چیزی که وارد می شود، باید خارج شود. این موضوع در بررسی سامانه های بیولوژیکی، نمونه برداری، آزمایش و ... بسیار کمک کننده است.

۱-۴. پایستگی جرم برای حوضچه های ته نشینی

پایستگی جرم در حوضچه های ته نشینی شامل محاسبه ی مقادیر ورودی و خروجی جامدات واحد تصفیه می باشد. نکته ی حائز اهمیت این است که مقادیر ورودی و خروجی با حداکثر اختلاف ۱۰-۱۵ درصد با یکدیگر باید برابر باشند. مقادیر بیشتر از این میزان ممکن است نشان دهنده ی خطا در نمونه گیری، افزایش سطح جامدات در واحد و یا نشت شناسایی نشده جامدات از خروجی حوضچه باشد.

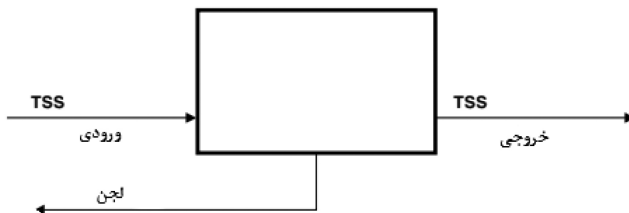
با توجه به شکل و گام های زیر، می توان پایستگی جرم در حوضچه های ته نشینی را محاسبه کرد:

گام ۱. تعیین جامدات معلق ورودی بر حسب کیلوگرم

گام ۲. تعیین جامدات معلق خروجی بر حسب کیلوگرم

گام ۳. تعیین میزان پمپاژ جامدات بیولوژیک بر حسب کیلوگرم بر روز

گام ۴. جامدات ورودی - (جامدات خروجی + جامدات بیولوژیک پمپاژ شده)



شکل ۱-۴: پایستگی جرم در حوضچه های ته نشینی

مثال ۱-۴. به یک حوضچه ی ته نشینی جریان روزانه ی ۱۵۸۹۹ مترمکعب وارد می شود. میزان جامدات معلق در جریان ورودی و خروجی به ترتیب ۲۵۲ و ۱۴۰ میلی گرم بر لیتر است. پمپ جامدات بیولوژیک (لجن) با دبی ۱۰ دقیقه بر ساعت کار می کند و نرخ تخلیه ی آن ۱۵۰ لیتر بر دقیقه است. غلظت جامدات در جریان لجن ۴/۲ درصد است. تعیین کنید که آیا قانون پایستگی جرم برای حذف جامدات در بازه قابل قبول ۱۰-۱۵ درصد می باشد یا خیر.

با توجه به مطالب گفته شده، مراحل زیر انجام می‌شود.

1. $\frac{252 \frac{mg}{L} \times 15899 \frac{m^3}{day}}{1000} = 4000 \frac{kg}{day}$
2. $\frac{140 \frac{mg}{L} \times 15899 \frac{m^3}{day}}{1000} = 2226 \frac{kg}{day}$
3. $10 \frac{min}{hr} \times 24 \frac{hr}{day} \times 150 \frac{L}{min} \times 0.042 \frac{kg}{L} = 1512 \frac{kg}{day}$
4. $4000 \frac{kg}{day} - \left(2226 \frac{kg}{day} + 1512 \frac{kg}{day} \right) = 262 \text{ kg یا } 6.5\%$

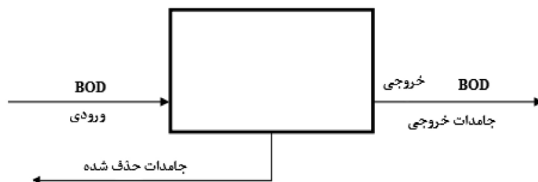
۲-۴. محاسبه‌ی پایستگی جرم با استفاده از میزان حذف BOD

میزان حذف BOD، رابطه‌ی مستقیم با میزان تولید جامدات دارد میزان دقیق تولید جامدات یک واحد، وابسته به شرایط بهره‌برداری و طراحی آن دارد. بنابراین مقادیر تولید نیز در هر مورد به صورت جداگانه باید تعیین شود. در عین حال، تحقیقات صورت گرفته در تصفیه‌خانه‌های مختلف، نرخ‌های تبدیل به تفکیک واحد فرآیندی را با توجه به جدول ۱-۴ مشخص کرده‌اند. همچنین، در شکل ۲-۴ قانون پایستگی جرم در یک واحد فرآیندی با استفاده از BOD نشان داده شده است.

جدول ۱-۴: نرخ‌های تبدیل کلی به تفکیک واحدهای فرآیندی (عامل k)

نوع فرآیند	ضریب تبدیل $\frac{kg \text{ solids}}{kg \text{ BOD Removal}}$
تصفیه مقدماتی	۱/۷
صافی چکنده	۱
صفحات چرخان بیولوژیکی	۱
جامدات فعال با مقدماتی	۰/۷
جامدات فعال بدون مقدماتی	
متعارف	۰/۸۵
هوادهی گسترده	۰/۶۵
تثبیت تماسی	۱
تغذیه مرحله‌ای	۰/۸۵
برکه اکسیداسیون	۰/۶۵





شکل ۴-۲: پایداری جرم در یک واحد فرآیندی با استفاده از BOD

برای ارزیابی مراحل زیر باید طی شود:

گام ۱. تعیین BOD ورودی بر حسب کیلوگرم

گام ۲. تعیین BOD خروجی بر حسب کیلوگرم

گام ۳. تعیین میزان حذف BOD بر حسب کیلوگرم

گام ۴. تعیین میزان تولید جامدات (BOD حذف شده $\times$ ضریب تبدیل)

گام ۵. تعیین میزان حذف جامدات (لجن پمپاژ شده $\times$ L/day درصد جامدات)

گام ۶. جامدات خروجی (mg/L) $\times$ میزان جریان

مثال ۴-۲. سامانه‌ی جامدات بیولوژیک متعارف با تصفیه‌مقدماتی، طبق حدود زیر بهره‌برداری می‌شود. آیا

موازنه جرم در این سامانه برقرار است؟

۲۵۰ میلی گرم بر لیتر	BOD جریان ورودی به تصفیه‌خانه
۱۶۶ میلی گرم بر لیتر	BOD خروجی تصفیه‌مقدماتی
۲۵ میلی گرم بر لیتر	BOD پساب جامدات بیولوژیکی فعال
۱۹ میلی گرم بر لیتر	کل جامدات معلق پساب جامدات بیولوژیکی فعال
۴۳۱۵۰ متر مکعب	دبی تصفیه‌خانه
۶۷۹۵ میلی گرم بر لیتر	غلظت مواد پسماند
۵۶۸ متر مکعب	دبی پسماند



1. $\frac{166 \frac{mg}{L} \times 43150 \frac{m^3}{day}}{1000} = 7163 \frac{kg}{day}$
2. $\frac{25 \frac{mg}{L} \times 43150 \frac{m^3}{day}}{1000} = 1079 \frac{kg}{day}$
3. $7163 \frac{kg}{day} - 1079 \frac{kg}{day} = 6084 \frac{kg}{day}$
4. $6084 \frac{kg}{day} \times 0.7 \frac{kg \text{ solids}}{kg \text{ BOD}} = 4258.8 \frac{kg}{day}$
5. $\frac{6795 \frac{mg}{L} \times 568 \frac{m^3}{day}}{1000} = 3859.6 \frac{kg}{day}$
6. $4258.8 \frac{kg}{day} - 3859.6 \frac{kg}{day} = 399.2 \frac{kg}{day}$ یا 9.3%

۳-۴. سنجش عملکرد تصفیه‌خانه

میزان حذف قابل قبول برای حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه به شرح جدول زیر است:

جدول ۲-۴. میزان حذف قابل قبول حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه

میزان حذف (درصد)	پارامتر
۹۰-۹۹	جامدات
۴۰-۶۰	جامدات معلق
۱۰-۱۵	کل جامدات
۲۰-۵۰	BOD

۱-۳-۴. عملکرد کل تصفیه‌خانه و یا واحد فرآیندی

$$\% \text{ Removal} = \frac{\text{influent concentration} - \text{effluent concentration}}{\text{influent concentration}} \times 100$$

$$\% \text{ Removal} = \frac{\text{influent turbidity} - \text{effluent turbidity}}{\text{influent turbidity}} \times 100$$

% Removal = درصد حذف

Influent concentration = غلظت ورودی (برای کل تصفیه‌خانه و یا یک واحد فرآیندی می‌تواند باشد)

Effluent concentration = غلظت خروجی (برای کل تصفیه‌خانه و یا یک واحد فرآیندی می‌تواند باشد)

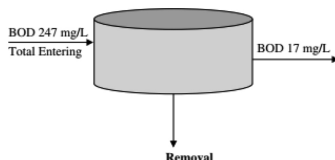
Influent turbidity = کدورت ورودی (برای کل تصفیه‌خانه و یا یک واحد فرآیندی می‌تواند باشد)

Effluent turbidity = کدورت خروجی (برای کل تصفیه‌خانه و یا یک واحد فرآیندی می‌تواند باشد)



مثال ۳-۴. همانطور که در شکل نشان داده شده است، BOD_5 ورودی و خروجی به ترتیب ۲۴۷ و ۱۷ میلی گرم بر لیتر می باشد. درصد حذف چه میزان است؟

$$\% \text{ Removal} = \frac{247 \frac{mg}{L} - 17 \frac{mg}{L}}{247 \frac{mg}{L}} \times 100 = 93\%$$



۲-۳-۴. درصد کاهش مواد فرار در لجن

محاسبه‌های کاهش میزان مواد فرار (%VM) به علت تغییرات در هنگام هضم جامدات بیولوژیک پیچیده‌تر است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\% \text{ VM reduction} = \frac{(\% \text{ VM}_{in} - \% \text{ VM}_{out})}{[\% \text{ VM}_{in} - (\% \text{ VM}_{in} \times \% \text{ VM}_{out})]} \times 100$$

%VM reduction : کاهش میزان مواد فرار %VM_{in} : مواد فرار ورودی %VM_{out} : مواد فرار خروجی

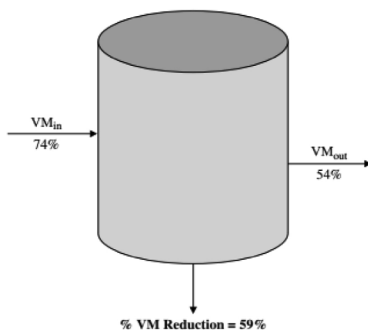
خروجی

مثال ۴-۴. باتوجه به اطلاعات هاضم زیر، میزان کاهش مواد فرار را تعیین کنید.

مواد فرار جامدات بیولوژیک خام: ۷۴ درصد

مواد فرار جامدات بیولوژیک هضم شده: ۵۴ درصد

$$\% \text{ VM reduction} = \frac{(0.74 - 0.54)}{[0.74 - (0.74 \times 0.54)]} \times 100 = 59\%$$







بخش دوم

محاسبه‌های تصفیه خانه‌های آب

فصل پنجم: محاسبه‌های پمپ و پمپاژ

آگاهی از پارامترهای مختلف پمپاژ برای بهره‌برداران آب و فاضلاب ضروری است. در این بخش به موارد مرتبط با این موضوع پرداخته می‌شود.

۱-۵. نرخ پمپاژ

نرخ پمپاژ یک پمپ برابر است با پمپاژ حجم معینی از آب در مدت زمان معین و به دو صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{pumping rate} \left(\frac{L}{\text{min}} \right) = \frac{\text{liters}}{\text{minutes}}$$

$$\text{pumping rate} \left(\frac{L}{\text{hr}} \right) = \frac{\text{liters}}{\text{hours}}$$

Pumping rate: نرخ پمپاژ

Liters: حجم پمپاژ شده بر حسب لیتر

Minutes: مدت زمان پمپاژ به دقیقه

Hours: مدت زمان پمپاژ به ساعت

مثال ۱-۵. در مخزنی به قطر ۱۵ متر، آب تا ارتفاع ۱/۲ متری قرار دارد. به منظور آزمایش پمپاژ، شیر خروجی مخزن را بسته و پمپاژ آب به داخل مخزن انجام می‌شود. پس از ۸۰ دقیقه، ارتفاع آب داخل مخزن به ۱/۷ متر می‌رسد. نرخ پمپاژ را بر حسب لیتر بر دقیقه محاسبه کنید.

گام اول، محاسبه‌ی حجم آب پمپاژ شده بر حسب متر مکعب می‌باشد. برای این منظور از محاسبه‌ی حجم استوانه (فصل ۳) استفاده می‌شود.

$$\text{Volume pumped} = \pi \times H \times r^2 = (3.14) \times ((1.7 - 1.2) \text{ m}) \times \left(\frac{15 \text{ m}}{2} \right)^2 = 88.5 \text{ m}^3$$

گام دوم، تبدیل مترمکعب به لیتر می‌باشد.

$$(88.5 \text{ m}^3) \left(\frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \right) = 88500 \text{ L}$$

گام سوم، تعیین نرخ پمپاژ بر حسب لیتر بر دقیقه می‌باشد. زمان کل پمپاژ ۸۰ دقیقه است بنابراین:

$$\text{pumping rate} \left(\frac{L}{\text{min}} \right) = \frac{88500 \text{ L}}{80 \text{ min}} = 1106.25 \text{ L/min}$$







فصل ششم: محاسبه‌های منابع تامین و مخازن ذخیره‌ی آب

۱-۶. کاهش سطح آب چاه (Drawdown)

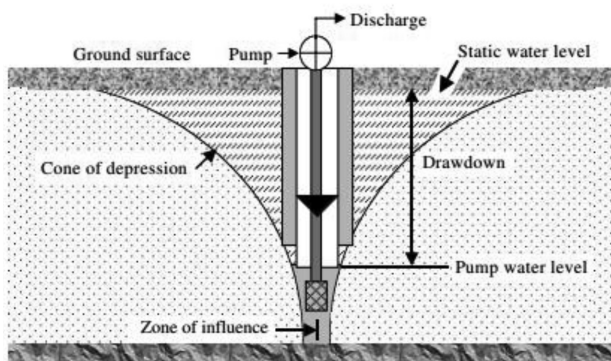
کاهش سطح آب چاه زمانی رخ می‌دهد که آب از چاه پمپاژ می‌شود. این کاهش سطح آب، بر حسب متر محاسبه می‌شود و عبارت است از اختلاف سطح استاتیک آب در مقایسه با سطح آب در حالت پمپاژ. ثابت بودن این عامل در طول زمان، نشان دهنده‌ی این است که میزان آب چاه ثابت باقی مانده است. در عین حال کم شدن آن در طول زمان، نشان دهنده‌ی کاهش آب چاه است، بنابراین

$$\text{Drawdown (m)} = \text{pumping water level (m)} - \text{static water level (m)}$$

Drawdown: کاهش سطح آب

Pumping water level: سطح آب در حالت پمپاژ

Static water level: سطح آب در حالت استاتیک



شکل ۱-۶: تصویر تجسمی افت سطح آب درون چاه

۲-۶. دبی چاه

دبی چاه عبارت است از حجم آب پمپاژ شده از چاه بر حسب زمان. این عامل بر حسب لیتر بر ثانیه و متر مکعب بر ساعت بیان و طبق روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{well yield } \left(\frac{L}{s} \right) = \frac{\text{water produced (L)}}{\text{duration of test (s)}}$$

Well yield: دبی چاه

Water produced: میزان آب پمپاژ شده از چاه

Duration of test: زمان پمپاژ





مثال ۱-۶. زمانی که سطح آب چاه پس از شروع پمپاژ تثبیت شد، مشخص شده است که ۱۵۰۰ لیتر آب در طی ۵ دقیقه استحصال شده است. دبی چاه چند لیتر بر ثانیه است؟

$$\text{well yield } \left(\frac{L}{s} \right) = \frac{1500 L}{5 \text{ min} \times \frac{60 s}{\text{min}}} = 5 \left(\frac{L}{s} \right)$$

۳-۶. دبی ویژه

دبی ویژه عبارت است از ظرفیت خروجی چاه بر حسب میزان کاهش سطح آب (Drawdown). برای یک چاه که به صورت مناسب توسعه داده شده است، دبی ویژه می تواند از ۰/۲۱ تا ۲۱ لیتر بر ثانیه به ازای هر متر متغیر باشد. این متغیر به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\text{specific yield } \left(\frac{L/s}{m} \right) = \frac{\text{well yield } L/s}{\text{Drawdown } (m)}$$

specific yield: دبی ویژه well yield : دبی چاه Drawdown: کاهش سطح آب

۴-۶. گندزدایی جدار چاه

هنگامی که چاه به تازگی احداث و یا تعمیر شده باشد، آلودگی دارد و در صورت عدم گندزدایی آن، آلودگی تا هفته ها باقی خواهد ماند. میزان ماده ی گندزدا طبق رابطه ی زیر محاسبه می شود.

$$\text{Chlorine } (g) = \text{Chlorine } (mg/L) \times \text{casing volume } (m^3)$$

Chlorine (g): مقدار کلر

Chlorine (mg/L): دوز کلر

Casing volume: حجم قسمتی از جدار چاه که آب دارد.

مثال ۲-۶. یک چاه جدید باید با کلر با دوز ۵۰ میلی گرم بر لیتر گندزدایی شود. در صورتی که قطر جدار چاه ۰/۲ متر و طول قسمت آب دار چاه ۳۵ متر باشد، چند گرم کلر برای گندزدایی چاه نیاز است.

گام اول، محاسبه ی قسمتی از حجم جدار استوانه ای چاه است که آب دارد.

$$V (m^3) = \pi \times \left(\frac{0.2}{2} \right)^2 \times 35 = 1.1 m^3$$

گام دوم، محاسبه کلر مورد نیاز است.

$$\text{Chlorine } (g) = 50 (mg/L) \times 1.1 (m^3) = 55 g$$

۵-۶. تخمین حجم مخزن، دریاچه و حوضچه

حجم ذخیره‌ی آب مخزن، دریاچه و حوضچه با رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود.

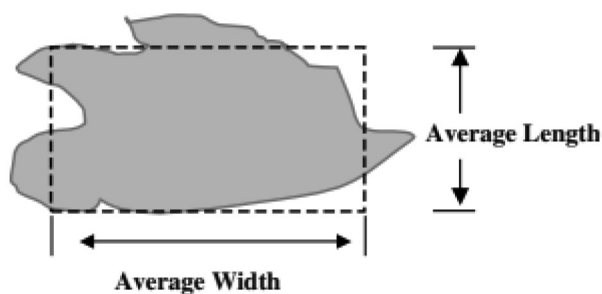
$$V (m^3) = ave.length (m) \times ave.width (m) \times ave.depth (m)$$

V: حجم مخزن، دریاچه و حوضچه

Ave. length: طول متوسط

Ave. width: عرض متوسط

Ave. depth: عمق متوسط



شکل ۲-۶: تخمین ظرفیت ذخیره‌ی حوضچه









فصل هفتم: محاسبه های انعقاد و لخته سازی

محاسبه های انعقاد و لخته سازی شامل تعیین حجم حوضچه، کالیبراسیون مواد شیمیایی، تنظیمات دستگاه تزریق کننده مواد شیمیایی و زمان ماند می باشد.

۱-۷. تعیین حجم حوضچه

به منظور تعیین حجم حوضچه های مربع، مستطیلی و دایره ای از رابطه ی زیر استفاده می شود:

$$(m) \text{ عمق} \times (m) \text{ عرض} \times (m) \text{ طول} = (m^3) \text{ حجم حوضچه ی مستطیلی}$$

$$(m) \text{ عمق} \times D^2 \times 0.785 = (m^3) \text{ حجم حوضچه ی دایره ای}$$

D: قطر حوضچه به متر

در صورتی که حوضچه شامل دو دایره هم مرکز داخلی و بیرونی باشد، حجم حوضچه ی بیرونی به روش زیر محاسبه می شود.

$$(m) \text{ عمق} \times (D_2 - D_1)^2 \times 0.785 = (m^3) \text{ حجم حوضچه ی بیرونی}$$

D₁: قطر حوضچه ی داخلی به متر

D₂: قطر حوضچه ی خارجی به متر

۲-۷. زمان ماند

در واحد انعقاد به علت سرعت بالای واکنش ها، زمان ماند بر حسب ثانیه محاسبه می شود. زمان ماند در واحد لخته سازی، معمولاً بین ۵ تا ۳۰ دقیقه است. رابطه ی محاسبه ی زمان ماند به صورت زیر است:

$$\text{Detention time (min)} = \frac{\text{volume of tank (m}^3\text{)}}{\text{flow rate (}\frac{\text{m}^3}{\text{min}}\text{)}}$$

Detention time: زمان ماند

Volume of tank: حجم حوضچه

Flow rate: دبی

مثال ۱-۷. در یک حوض انعقاد به طول ۱/۸ متر، عرض ۱/۲ و عمق ۰/۹ متر، آب با دبی پیوسته و ثابت ۲۲۷۰۰ مترمکعب در روز جریان دارد. زمان ماند در این واحد چند ثانیه است؟

گام اول، تعیین دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه

$$\text{flow rate (}\frac{\text{m}^3}{\text{sec}}\text{)} = \frac{22700 (\frac{\text{m}^3}{\text{day}})}{1440 (\frac{\text{min}}{\text{day}}) \times 60 (\frac{\text{sec}}{\text{min}})} = 0.26 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

گام دوم، محاسبه‌ی زمان ماند حوضچه‌ی انعقاد

$$Detention\ time\ (sec) = \frac{1.8\ (m) \times 1.2\ (m) \times 0.9\ (m)}{0.26\ (\frac{m^3}{sec})} = 7.5\ sec$$

۳-۷. محاسبه‌های تنظیم تزریق کننده‌ی مواد شیمیایی خشک (kg/day)

در هنگام افزودن مواد شیمیایی به آب، نیاز به تعیین مقدار مواد بر حسب کیلوگرم بر روز می‌باشد. این مقدار وابسته به نوع ماده‌ی شیمیایی، و دبی آب در حال تصفیه می‌باشد. برای تبدیل میلی گرم بر لیتر به کیلوگرم بر روز و برعکس از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$Chemical\ added\ (kg/day) = \frac{chemical\ (\frac{mg}{L}) \times flow\ (\frac{m^3}{day})}{1000}$$

$$chemical\ (\frac{mg}{L}) = \frac{Chemical\ added\ (kg/day) \times 1000}{flow\ (\frac{m^3}{day})}$$

Chemical added: میزان مواد شیمیایی

Chemical: میزان اضافه کردن مواد شیمیایی

Flow: دبی آب در حال تصفیه

مثال ۳-۷. با آزمون جار مشخص شد که بهترین میزان تزریق ماده‌ی منعقد کننده برای نمونه‌ای از آب برابر ۸ میلی گرم بر لیتر است. در صورتی که دبی آب در حال تصفیه ۷۹۵۰ مترمکعب بر روز باشد، روزانه چند کیلوگرم ماده‌ی خشک بر روی دستگاه تزریق ماده‌ی منعقد کننده باید بارگیری شود؟

$$Chemical\ added\ (kg/day) = 8\ (\frac{mg}{L}) \times 7950\ (\frac{m^3}{day}) \div 1000 = 63.6\ kg/day$$

۴-۷. محاسبه‌های تنظیم تزریق کننده‌ی مواد شیمیایی محلول (L/day)

در صورتی که نیاز به تبدیل کیلوگرم بر روز ماده شیمیایی خشک به لیتر بر روز محلول باشد، از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود.

$$Solution\ (L/day) = \frac{chemical\ (\frac{kg}{day})}{\frac{chemical\ (kg)}{solution\ (L)}}$$

Solution: محلول

Chemical: میزان مواد شیمیایی

مثال ۴-۷. با آزمون جار مشخص شد که بهترین میزان تزریق ماده‌ی منعقد کننده برای نمونه‌ای از آب برابر ۷ میلی گرم بر لیتر است. در صورتی که دبی آب در حال تصفیه ۵۶۷۸ متر مکعب بر روز باشد، روزانه چند لیتر محلول بر روی دستگاه تزریق محلول ماده‌ی منعقد کننده باید اضافه شود؟ هر لیتر از محلول حاوی ۰/۶۴ کیلوگرم ماده منعقد کننده است.



گام اول، محاسبه ی میزان کیلوگرم بر روز ماده ی شیمیایی خشک می باشد.

$$(kg/day) = 7 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 5678 \left(\frac{m^3}{day} \right) \div 1000 = 39.7 \, kg/day$$

گام دوم، محاسبه ی میزان محلول مورد نیاز است.

$$Solution \, (L/day) = \frac{39.7 \left(\frac{kg}{day} \right)}{\frac{0.64 \, (kg)}{1 \, (L)}} = 64 \, L/day$$

۵-۷. تعیین درصد جرمی محلول با ماده ی حل شونده ی خشک

با استفاده از رابطه ی زیر درصد جرمی محلول را می توان بیان کرد.

$$\% = \frac{chemical \, (kg)}{water \, (kg) + chemical \, (kg)} \times 100$$

Chemical: ماده شیمیایی

Water: آب

مثال ۴-۷. در صورتی که ۰/۹ کیلوگرم پلیمر خشک در ۲۲ لیتر آب حل شود، درصد جرمی محلول ایجاد شده

چه قدر است؟ (چگالی آب = ۱ kg/L)

گام اول، تعیین میزان kg آب با توجه به چگالی آن است.

$$\left(\frac{kg}{L} \right) = \frac{وزن \, آب \, (kg)}{حجم \, آب \, (L)} \rightarrow وزن \, آب \, (kg) = 22 \, (L) \times 1 \left(\frac{kg}{L} \right) = 22 \, kg$$

گام دوم، محاسبه ی درصد جرمی محلول است.

$$\% = \frac{0.9 \, (kg)}{22 \, (kg) + 0.9 \, (kg)} \times 100 = 4\%$$

۶-۷. تعیین درصد جرمی محلول با ماده ی حل شونده مایع

در صورتی که ماده ی اولیه ی تزریقی به آب مایع باشد (به طور مثال، پلیمر مایع)، محاسبه های تهیه محلول،

با رابطه ی زیر انجام می شود.

$$Liq. \, poly. \, (kg) \times \frac{liq. \, poly. \, (\%)}{100} = poly. \, sol. \, (kg) \times \frac{poly. \, sol. \, (\%)}{100}$$

Liq.poly. پلیمر مایع به عنوان ماده ی اولیه تزریقی

Poly.sol. محلول پلیمر

مثال ۵-۷. برای تهیه ی محلول پلیمر از پلیمر مایع ۱۲ درصد جرمی استفاده شده است. چند کیلوگرم پلیمر



مایع باید در آب حل شود تا ۵۵ کیلوگرم محلول پلیمر ۵ درصد جرمی تولید شود؟

$$Liq. poly. (kg) \times \frac{12 (\%)}{100} = 55 (kg) \times \frac{5 (\%)}{100} = 23 kg$$

۷-۷. تعیین درصد جرمی محلول تشکیل شده از ترکیب دیگر محلول‌ها

درصد جرمی محلول تشکیل شده از ترکیب دو محلول با درصد‌های جرمی معین، از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\% = \frac{\frac{sol.1 (kg) \times \% sol.1}{100} + \frac{sol.2 (kg) \times \% sol.2}{100}}{kg sol.1 (kg) + sol.2 (kg)} \times 100$$

sol.1: مقدار محلول اول

sol.2: مقدار محلول دوم

%sol.1: درصد جرمی محلول اول

%sol.2: درصد جرمی محلول دوم

مثال ۶-۷. در صورتی که ۵/۵ کیلوگرم محلول ۱۰ درصد جرمی با ۱۸ کیلوگرم محلول ۱ درصد جرمی ترکیب

شود، درصد جرمی محلول به دست آمده چقدر است؟

$$\% = \frac{\frac{5.5 (kg) \times 10}{100} + \frac{18 (kg) \times 1}{100}}{5.5 (kg) + 18 (kg)} \times 100 = 3.1\%$$

۸-۷. کالیبراسیون دستگاه تزریق کننده‌ی مواد شیمیایی خشک

گاهی لازم است کالیبراسیون دستگاه تزریق کننده برای مقایسه‌ی نرخ تزریق عملی با نرخ تزریق اندازه‌گیری شده توسط دستگاه، انجام شود. به منظور تعیین میزان عملی تزریق، ظرفی که پیش‌تر وزن آن اندازه‌گیری شده است، در زیر دستگاه تزریق قرار داده می‌شود. سپس ظرف پس از گذشت مدت معین (به طور مثال ۳۰ دقیقه) دوباره وزن می‌شود. نرخ عملی تزریق، با رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

$$Chemical feed rate (kg/min) = \frac{chemical applied (kg)}{length of application (min)}$$

Chemical feed rate: نرخ عملی تزریق ماده‌ی شیمیایی

Chemical applied: وزن ماده‌ی شیمیایی داخل ظرف

Length of application: زمان آزمایش

در ادامه، با رابطه‌ی زیر نرخ تزریق عملی را بر حسب کیلوگرم بر روز می‌توان محاسبه کرد.

$$Feed rate (kg/day) = feed rate (kg/min) \times 1440 \left(\frac{min}{day} \right)$$

مثال ۷-۷. به منظور ارزیابی صحت عملکرد دستگاه تزریق مواد شیمیایی، ظرفی در زیر آن قرار داده شد و در



مدت ۲۰ دقیقه، ۰/۹ کیلوگرم ماده‌ی شیمیایی در ظرف ریخته شده است. نرخ تزریق عملی این دستگاه را بر حسب کیلوگرم بر روز محاسبه کنید.

گام اول، تعیین نرخ تزریق عملی بر حسب کیلوگرم بر دقیقه

$$\text{Chemical feed rate } \left(\frac{kg}{min} \right) = \frac{0.9 (kg)}{20 (min)} = 0.045 \text{ kg/min}$$

گام دوم، تبدیل میزان تزریق به کیلوگرم بر روز

$$\text{Feed rate (kg/day)} = 0.045 \left(\frac{kg}{min} \right) \times 1440 \left(\frac{min}{day} \right) = 64.8 \text{ kg/day}$$

۹-۷. کالیبراسیون دستگاه تزریق کننده مواد شیمیایی محلول

به منظور تعیین مقدار تزریق عملی دستگاه تزریق کننده‌ی مواد شیمیایی محلول و سپس مقایسه‌ی آن با اعداد اندازه‌گیری شده توسط ابزار اندازه‌گیری، ابتدا دبی محلول بر حسب میلی لیتر بر روز مشخص می‌شود. سپس با استفاده از درصد جرمی بر حسب میلی گرم بر لیتر، و رابطه‌ی زیر میزان دوز بر حسب کیلوگرم بر روز محاسبه می‌شود.

$$\text{Chemical (kg/day)} = \frac{\text{chemical } \left(\frac{mg}{L} \right) \times \text{flow } \left(\frac{ml}{min} \right) \times 1440 \left(\frac{min}{day} \right)}{10^9}$$

مثال ۸-۷. در آزمون کالیبراسیون یک دستگاه تزریق کننده‌ی مواد شیمیایی محلول، در طی ۵ دقیقه، ۹۴۰ میلی لیتر محلول ۱/۲ درصد جرمی پلیمر پمپاژ شد. دوز پمپاژ پلیمر بر حسب کیلوگرم بر روز چه قدر است؟ (فرض شود که چگالی محلول پلیمر برابر یک کیلوگرم بر لیتر است)

$$\text{Chemical (kg/day)} = \frac{12000 \left(\frac{mg}{L} \right) \times \frac{940}{5} \left(\frac{ml}{min} \right) \times 1440 \left(\frac{min}{day} \right)}{10^9} = 3.2 \text{ kg/day}$$

مثال ۹-۷. در آزمون کالیبراسیون یک دستگاه تزریق کننده‌ی مواد شیمیایی محلول، در طی ۲۴ ساعت، ۳۷۸/۵ لیتر محلول ۱/۲ درصد جرمی پلیمر پمپاژ شد. دوز پمپاژ پلیمر بر حسب کیلوگرم بر روز چه قدر است؟ (فرض شود که چگالی محلول پلیمر برابر ۱ کیلوگرم بر لیتر است)

گام اول، تبدیل زمان آزمایش از ساعت به دقیقه و مقدار پمپاژ شده از لیتر به میلی لیتر است.

$$378.5 (L) \times \frac{1000 (mL)}{1 (L)} = 378500 \text{ mL}$$

$$24 (hr) \times \frac{60 (min)}{1 (hr)} = 1440 \text{ min}$$

گام دوم، تعیین میزان مواد شیمیایی مصرفی بر حسب کیلوگرم بر روز است.



$$\text{Chemical (kg/day)} = \frac{12000 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times \frac{378500}{1440} \left(\frac{\text{ml}}{\text{min}}\right) \times 1440 \left(\frac{\text{min}}{\text{day}}\right)}{10^9} = 4.5 \text{ kg/day}$$

نکته: میزان عملی نرخ پمپاژ بر اساس پمپاژ در طی مدت زمان معین را با استفاده از رابطه زیر می‌توان مشخص کرد.

$$\text{نرخ پمپاژ (m}^3/\text{min)} = \frac{0.785 \times D^2 \times \text{کاهش ارتفاع (m)}}{\text{زمان آزمایش (min)}}$$

D: قطر مخزن نگهدارنده‌ی مواد شیمیایی

مثال ۷-۱۰. به منظور کالیبره کردن نرخ پمپاژ یک آزمایش ۱۵ دقیقه‌ای انجام شد و در آن سطح مایع درون مخزن نگهدارنده‌ی مواد شیمیایی به قطر ۱/۲ متر، به میزان ۰/۱۵ متر کاهش یافت. نرخ پمپاژ بر حسب لیتر بر دقیقه چه قدر است؟

گام اول، محاسبه‌ی نرخ پمپاژ بر حسب متر مکعب بر دقیقه است.

$$\text{نرخ پمپاژ (m}^3/\text{min)} = \frac{0.785 \times 1.2^2 \times 0.15 \text{ (m)}}{15 \text{ (min)}} = 0.0113 \text{ m}^3/\text{min}$$

گام دوم، تبدیل واحد نرخ پمپاژ از مکعب بر دقیقه به لیتر بر دقیقه است.

$$\frac{0.0113 \text{ m}^3}{\text{min}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 11.3 \text{ L/min}$$

۷-۱۰. مشخص کردن مقدار مصرف مواد شیمیایی

به منظور پیش‌بینی تواتر زمانی تهیه‌ی مواد شیمیایی، میزان مصرف متوسط روزانه‌ی مواد شیمیایی باید مشخص شود. از روابط زیر برای مشخص کردن مصرف متوسط روزانه‌ی مواد شیمیایی استفاده می‌شود.

$$\text{Average use (kg/day)} = \frac{\text{total chemical used (kg)}}{\text{number of days}}$$

یا

$$\text{Average use (L/day)} = \frac{\text{total chemical used (L)}}{\text{number of days}}$$

Average use: مصرف متوسط روزانه‌ی مواد شیمیایی

Total chemical used: مصرف کل مواد شیمیایی

Number of days: تعداد روزهای مصرف کل مواد شیمیایی

سپس از روابط زیر می‌توان پیش‌بینی کرد که مواد موجود در مخزن تا چند روز کافی است.



$$\text{Day's supply in inventory} = \frac{\text{total chemical in inventory (kg)}}{\text{average use (kg/day)}}$$

یا

$$\text{Day's supply in inventory} = \frac{\text{total chemical in inventory (L)}}{\text{average use (L/day)}}$$

Day's supply in inventory: تعداد روزهایی که مواد داخل مخزن ذخیره کافی هستند.

Total chemical in inventory: کل مواد شیمیایی در مخزن

Average use: مصرف متوسط روزانه مواد شیمیایی

مثال ۷-۱۱. در جدول زیر میزان مصرف روزانه‌ی ماده‌ی شیمیایی داده شده است. در صورتی که در مخزن

ذخیره ۱۲۷۰ کیلوگرم ماده‌ی شیمیایی وجود داشته باشد، این میزان تا چند روز کافی خواهد بود؟

روز هفته	مقدار مصرف (kg/day)
شنبه	۴۱
یکشنبه	۳۹
دوشنبه	۹/۳۹
سه‌شنبه	۴۲
چهارشنبه	۳/۴۱
پنج‌شنبه	۹/۳۹
جمعه	۵/۴۳

گام اول، تعیین متوسط مصرف روزانه‌ی مواد شیمیایی است.

$$\text{Average use (kg/day)} = \frac{41 + 39 + 39.9 + 42 + 41.3 + 39.9 + 43.5}{7} = 40.9$$

گام دوم، تعیین تعداد روزهایی است که مواد شیمیایی کافی هستند.

$$\text{Day's supply in inventory} = \frac{1270 \text{ (kg)}}{40.9 \text{ (kg/day)}} = 31 \text{ days}$$







فصل هشتم: محاسباتهای زلال‌سازها

۱-۸. تعیین حجم زلال‌سازهای مستطیلی و دایره‌ای

با استفاده از روابط زیر حجم زلال‌سازهای مستطیلی و دایره‌ای مشخص می‌شود.

$$(m) \text{ عمق} \times (m) \text{ عرض} \times (m) \text{ طول} = (m^3) \text{ حجم زلال‌سازهای مستطیلی}$$

$$(m) \text{ عمق} \times D^2 \times 0.785 = (m^3) \text{ حجم زلال‌سازهای دایره‌ای}$$

D: قطر زلال‌سازهای دایره‌ای

۲-۸. تعیین زمان ماند

زمان ماند در زلال‌سازها طبق روابط زیر محاسبه می‌شود.

• زمان ماند:

$$\text{Detention time (hr)} = \frac{\text{volume of tank (m}^3\text{)}}{\text{flow rate (}\frac{\text{m}^3}{\text{hr}}\text{)}}$$

• زمان ماند در زلال‌سازهای مستطیلی:

$$\text{Detention time (hr)} = \frac{(m) \text{ عمق} \times (m) \text{ عرض} \times (m) \text{ طول}}{\text{flow rate (}\frac{\text{m}^3}{\text{hr}}\text{)}}$$

• زمان ماند در زلال‌سازهای دایره‌ای:

$$\text{Detention time (hr)} = \frac{(m) \text{ عمق} \times D^2 \times 0.785}{\text{flow rate (}\frac{\text{m}^3}{\text{hr}}\text{)}}$$

Detention time: زمان ماند

Volume of tank: حجم حوضچه

Flow rate: دبی

D: قطر زلال‌سازهای دایره‌ای

مثال ۱-۸. در یک زلال‌ساز مستطیلی با طول ۱۸ متر و عرض ۷ متر، آب به عمق ۳ متر جریان دارد. در صورتی

که دبی ورودی به این زلال‌ساز ۵۶۸۰ مترمکعب بر روز باشد، زمان ماند این زلال‌ساز چند ساعت است؟

گام اول، تبدیل میزان دبی ورودی به زلال‌ساز از متر مکعب بر روز به متر مکعب بر دقیقه است.

$$5680 \frac{\text{m}^3}{\text{day}} \times \frac{1 \text{ day}}{24 \text{ hr}} = 236.6 \text{ m}^3 / \text{hr}$$



گام دوم، محاسبه‌ی زمان ماند است.

$$Detention\ time\ (hr) = \frac{18\ (m) \times 7\ (m) \times 3\ (m)}{236.6\ (\frac{m^3}{hr})} = 1.6\ hr$$

۳-۸. بار سطحی زلال‌سازها

بار سطحی طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Surface\ overflow\ rate = \frac{flow\ (\frac{m^3}{hr})}{area\ (m^2)}$$

Surface overflow rate: بار سطحی

Flow: دبی

Area: مساحت سطح

مثال ۲-۸. در یک حوض زلال‌سازی با ابعاد ۸×۲۰ متر آب با دبی ورودی ۰/۱۶ مترمکعب بر ساعت جریان دارد. بار سطحی بر حسب متر مکعب بر ساعت به ازای هر متر مربع ($m^3/hr.m^2$) چقدر است؟

$$Surface\ overflow\ rate = \frac{0.16\ (\frac{m^3}{hr})}{20 \times 8\ (m^2)} = 0.001\ m^3/hr.m^2$$

۴-۸. سرعت متوسط جریان

به میانگین سرعت آب در حین عبور از حوضچه‌ی زلال‌ساز، سرعت متوسط جریان گفته می‌شود.

$$Q\ (\frac{m^3}{min}) = A\ (m^2) \times V\ (\frac{m}{min})$$

Q: دبی جریان

A: مساحت سطح مقطع حوضچه

V: سرعت جریان

مثال ۳-۸. عمق آب در یک حوض زلال‌ساز به طول ۱۸ و عرض ۶ متر، ۴ متر است. در زمانی که جریان ورودی به آن ۳۴۰۰ متر مکعب بر روز باشد، سرعت متوسط جریان در این حوضچه چقدر است؟

گام اول، تبدیل واحد جریان ورودی از متر مکعب بر روز به متر مکعب بر دقیقه است.

$$3400\ (\frac{m^3}{day}) \times \frac{1\ (day)}{1440\ (min)} = 2.36\ m^3/min$$

گام دوم، تعیین سرعت متوسط جریان است.

$$2.36\ (\frac{m^3}{min}) = 6\ (m) \times 4\ (m) \times V\ (\frac{m}{min}) = 0.1\ m/min$$



۵-۸. بار خطی سرریز زلال‌سازها

بار خطی سرریز از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{weir loading rate } \left(\frac{m^3}{hr.m} \right) = \frac{\text{flow } \left(\frac{m^3}{hr} \right)}{\text{weir length (m)}}$$

Weir loading rate: بار خطی سرریز

Flow: دبی

Weir length: طول سرریز

مثال ۴-۸. در یک حوضچه‌ی زلال‌ساز دایره‌ای شکل، آب با دبی ورودی ۱۳۴۴۰ متر مکعب بر روز جریان دارد. در صورتی که قطر سرریز ۲۸ متر باشد، بار خطی سرریز بر حسب $m^3/hr.m$ چه قدر است؟

گام اول، تبدیل واحد جریان ورودی از متر مکعب بر روز به متر مکعب بر ساعت است.

$$13440 \left(\frac{m^3}{day} \right) \times \frac{1 \text{ (day)}}{24 \text{ (hr)}} = 560 \text{ } m^3/hr$$

گام دوم، محاسبه‌ی طول سرریز است. توجه شود که در این مثال، طول سرریز همان محیط حوضچه دایره‌ای است.

$$3.14 \times 28 \text{ (m)} = 88 \text{ m}$$

گام سوم، محاسبه‌ی بار خطی سرریز است.

$$\text{weir loading rate } \left(\frac{m^3}{hr.m} \right) = \frac{560 \left(\frac{m^3}{hr} \right)}{88 \text{ (m)}} = 6.4 \frac{m^3}{hr.m}$$

۶-۸. درصد ته‌نشینی جامدات بیولوژیک

آزمایش درصد ته‌نشینی جامدات بیولوژیک با جمع‌آوری ۱۰۰ میلی لیتر نمونه از واحد تماس با جامدات و در نظر گرفتن ۱۰ دقیقه زمان برای ته‌نشینی آن انجام می‌شود. بعد از ۱۰ دقیقه، حجم جامدات ته‌نشین شده در استوانه مدرج اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. رابطه‌ی تعیین درصد ته‌نشینی جامدات بیولوژیک به صورت زیر است.

$$\% \text{ settled biosolids} = \frac{\text{settled biosolids volume (mL)}}{\text{total sample volume (mL)}} \times 100$$

Settled biosolids %: درصد ته‌نشینی مواد بیولوژیک جامد

Settled biosolids volume: حجم جامدات ته‌نشین شده

Total sample volume: حجم کل نمونه

مثال ۵-۸. یک نمونه‌ی ۱۰۰ میلی لیتری از واحد تماس با جامدات در استوانه مدرج قرار داده شده است.





بعد از ۱۰ دقیقه، ۲۱ میلی لیتر از جامدات بیولوژیک در استوانه ته نشین شده است. در صد ته نشینی مواد جامد را محاسبه کنید.

$$\% \text{ settled biosolids} = \frac{21 \text{ (mL)}}{100 \text{ (mL)}} \times 100 = 21\%$$

۷-۸. تعیین دوز آهک^۲ (mg/L)

در زمان تزریق ماده ی منعقد کننده، به منظور تنظیم قلیائیت و بهبود شرایط انعقاد، از آهک استفاده می شود. ۳ گام تعیین میزان آهک (mg/L) در سه مرحله انجام می شود.

گام اول، میزان قلیائیت لازم محاسبه می شود. قلیائیت کل مورد نیاز برای واکنش با ماده منعقد کننده و ته نشینی مناسب، با استفاده از رابطه زیر تعیین می شود.

$$\text{Total alkalinity required} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \text{Alkalinity reacting with alum} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) + \text{alkalinity in the water} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

Total alkalinity required: قلیائیت کل مورد نیاز

Alkalinity reacting with alum: قلیائیتی که با ماده منعقد کننده واکنش می دهد. هر میلی گرم ماده ی منعقد کننده (آلوم) با ۰/۴۵ میلی گرم قلیائیت، واکنش می دهد.

Alkalinity in the water: قلیائیت موجود در آب

مثال ۸-۶. طی آزمون جار، میزان تزریق ماده منعقد کننده به آب، ۴۵ میلی گرم بر لیتر تعیین شد. در صورتی که نیاز به ۳۰ میلی گرم بر لیتر قلیائیت برای اطمینان از ته نشینی مناسب ماده منعقد کننده باشد، قلیائیت کل مورد نیاز بر حسب میلی گرم بر لیتر چه قدر است؟

گام اول، تعیین قلیائیتی است که با ۴۵ میلی گرم بر لیتر ماده منعقد کننده واکنش می دهد.

$$\frac{0.45 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ alk.}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ alum}} = \frac{x \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ alk.}}{45 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ alum}} \rightarrow x = 0.45 \times 45 = 20.25 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ alk.}$$

گام دوم، محاسبه ی قلیائیت کل مورد نیاز:

$$\text{Total alkalinity required} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \text{Alkalinity reacting with alum} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) + \text{alkalinity in the water} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

$$\rightarrow \text{Total alkalinity required} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 20.25 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) + 30 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 50.25 \text{ mg/L}$$

گام دوم، قلیائیت مورد نیاز و قلیائیت موجود در آب خام مقایسه و مشخص می شود چه مقدار قلیائیت به آب باید اضافه شود. برای این منظور از رابطه زیر استفاده می شود.

$$\text{Alk. to be added to the water} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \text{total alk. required} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) - \text{alk. present in the water} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

Alk. to be added to the water: قلیائیتی که باید به آب اضافه شود

Total alk. required: قلیائیت کل مورد نیاز

Alk. present in the water: قلیائیت موجود در آب خام

مثال ۸-۷. به منظور تضمین ته‌نشینی مناسب، مقدار ۴۴ میلی گرم بر لیتر قلیائیت کل مورد نیاز است تا با ماده‌ی منعقد کننده واکنش دهد. اگر آب خام دارای ۳۰ میلی گرم بر لیتر قلیائیت بی کربناتی باشد، چه میزان قلیائیت باید به آب اضافه شود؟

$$\text{Alk. to be added to the water} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 44 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) - 30 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 14 \text{ mg/L}$$

گام سوم، پس از تعیین قلیائیت مورد نیاز برای اضافه کردن به آب، میزان افزودن آهک (منشا قلیائیت) مشخص می‌شود. این گام با نسبتی که در مثال زیر آورده شده است تکمیل می‌شود.

مثال ۸-۸. محاسبه نشان می‌دهد که باید ۱۶ میلی گرم بر لیتر قلیائیت به آب خام اضافه شود. چه میزان آهک (mg/L) مورد نیاز است تا این قلیائیت تامین شود؟ (هر میلی گرم بر لیتر ماده منعقد کننده با ۰/۴۵ میلی گرم بر لیتر قلیائیت؛ و هر میلی گرم بر لیتر ماده منعقد کننده با ۰/۳۵ میلی گرم بر لیتر آهک واکنش می‌دهد.) با تناسب زیر، قلیائیت بی کربناتی با آهک مرتبط می‌شود.

$$\frac{0.45 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ alk.}}{0.35 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ lime}} = \frac{16 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ alk.}}{x \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ lime}} \rightarrow 0.45x = 0.35 \times 16 = 12.4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ lime}$$

مثال ۸-۹. با توجه به اطلاعات زیر، دوز آهک مورد نیاز را محاسبه کنید (بر حسب میلی گرم بر لیتر):

دوز مورد نیاز ماده‌ی منعقد کننده (تعیین شده در آزمون جار): ۵۲ میلی گرم بر لیتر

مقدار مورد نیاز قلیائیت باقی مانده برای ته‌نشینی: ۳۰ میلی گرم بر لیتر

هر میلی گرم بر لیتر ماده منعقد کننده با ۰/۳۵ میلی گرم بر لیتر آهک واکنش می‌دهد.

هر میلی گرم بر لیتر ماده‌ی منعقد کننده با ۰/۴۵ میلی گرم بر لیتر قلیائیت واکنش می‌دهد.

قلیائیت آب خام، ۳۶ میلی گرم بر لیتر

گام اول، محاسبه‌ی قلیائیتی است که با ۵۲ میلی گرم بر لیتر ماده‌ی منعقد کننده واکنش می‌دهد.

$$\frac{0.45 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ alk.}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ alum}} = \frac{x \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ alk.}}{52 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ alum}} \rightarrow x = 0.45 \times 52 = 23.4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ alk.}$$

گام دوم، تعیین قلیائیت کل مورد نیاز است.

$$\text{Total alkalinity required} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 23.4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) + 30 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 53.4 \text{ mg/L}$$



گام سوم، تعیین میزان قلیائیتی است که به آب باید اضافه شود.

$$Alk. \text{ to be added to the water } \left(\frac{mg}{L} \right) = 53.4 \left(\frac{mg}{L} \right) - 36 \left(\frac{mg}{L} \right) = 17.4 \text{ mg/L}$$

گام چهارم، تعیین میزان مورد نیاز آهک برای تامین قلیائیت است.

$$\frac{0.45 \frac{mg}{L} \text{ alk.}}{0.35 \frac{mg}{L} \text{ lime}} = \frac{17.4 \frac{mg}{L} \text{ alk.}}{x \frac{mg}{L} \text{ lime}} \rightarrow 0.4x = 17.4 \times 0.35 = 13.5 \frac{mg}{L} \text{ lime}$$

۸-۸. تعیین دوز آهک (kg/day)

پس از تعیین دوز مصرف آهک بر حسب میلی گرم بر لیتر، مناسب است که این میزان بر حسب کیلوگرم بر روز محاسبه شود. این محاسبه از عملیات متداول در تصفیه‌ی آب و فاضلاب است. برای تبدیل میلی گرم بر لیتر مصرف آهک به کیلوگرم بر روز و بالعکس از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$Lime \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{lime \left(\frac{mg}{L} \right) \times flow \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000}$$

$$Lime \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{lime \left(\frac{kg}{day} \right) \times 1000}{flow \left(\frac{m^3}{day} \right)}$$

مثال ۸-۱۰. دبی ورودی به زلال‌ساز تماس با جامدات ۱۰۰۰۰ مترمکعب بر روز است. در صورتی که دوز آهک مصرفی ۱۲/۶ میلی گرم بر لیتر تعیین شده باشد، روزانه به چند کیلوگرم آهک نیاز است؟

$$Lime \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{12.6 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 10000 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000} = 126 \text{ kg/day}$$

نکته: با استفاده از ضرایب تبدیل مندرج در جدول ۱-۳، میزان مصرف آهک را از کیلوگرم بر روز به گرم بر دقیقه می‌توان تبدیل کرد.







فصل نهم: محاسبه‌ی صاف‌سازی

۱-۹. نرخ صاف‌سازی

نرخ صاف‌سازی که بر حسب متر مکعب بر متر مربع بر ساعت بیان می‌شود، یکی از معیارهایی است که به همراه زمان صاف‌سازی در بهره‌برداری از صافی نقش مهمی دارد. این معیار طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{Filtration rate} \left(\frac{m^3}{hr.m^2} \right) = \frac{\text{flow rate} \left(\frac{m^3}{hr} \right)}{\text{filter surface area} (m^2)}$$

Filtration rate: نرخ صافی‌سازی

Flow rate: دبی جریان

Filter surface area: مساحت سطح صافی

مثال ۱-۹. یک فیلتر به طول ۱۳ و عرض ۶ متر در یک بازه‌ی زمانی ۷۶ ساعته، ۴۲ هزار مترمکعب آب را تصفیه می‌کند. متوسط نرخ صافی‌سازی در این صافی چه قدر است؟

گام اول، محاسبه‌ی میزان آب صافی شده است.

$$\text{Flow rate} \left(\frac{m^3}{hr} \right) = \frac{42000 (m^3)}{76 (hr)} = 552.63 m^3/hr$$

گام دوم، محاسبه‌ی متوسط نرخ صافی‌سازی است.

$$\text{Filtration rate} \left(\frac{m^3}{hr.m^2} \right) = \frac{552.63 \left(\frac{m^3}{hr} \right)}{13 (m) \times 6 (m)} = 7 \left(\frac{m^3}{hr.m^2} \right)$$

مثال ۲-۹. یک صافی به طول ۱۲ و عرض ۶ متر، تحت آزمایش نرخ دبی قرار گرفته است. در حین آزمون، شیر ورودی صافی به مدت ۶ دقیقه بسته می‌شود. افت سطح آب در صافی در این مدت ۰/۶ متر است. نرخ صافی‌سازی بر حسب متر مکعب بر ساعت به ازای هر متر مربع از سطح $(m^3/m^2.hr)$ چه قدر است؟

گام اول، محاسبه‌ی دبی جریان با استفاده از رابطه‌ی $Q = V/t$ است.

$$\text{Flow rate} \left(\frac{m^3}{hr} \right) = \frac{42000 (m^3)}{76 (hr)} = 552.63 m^3/hr$$

گام دوم، محاسبه‌ی نرخ صافی‌سازی است.

$$\text{Filtration rate} \left(\frac{m^3}{hr.m^2} \right) = \frac{432 \left(\frac{m^3}{hr} \right)}{12 (m) \times 6 (m)} = 6 \left(\frac{m^3}{hr.m^2} \right)$$





۲-۹. محاسبه‌ی UFRV

این معیار نشان دهنده‌ی حجم کل آب صاف شده از هر متر مربع مساحت سطح صافی در زمان کل صافی‌سازی می‌باشد. از این محاسبه برای مقایسه و ارزیابی عملکرد صافی‌ها استفاده می‌شود. مقدار UFRV با گذشت زمان از شروع کارکرد صافی، کاهش می‌یابد. از روابط زیر برای محاسبه این معیار استفاده می‌شود.

$$UFRV \left(\frac{m^3}{m^2} \right) = \frac{\text{total filtered volume } (m^3)}{\text{filter surface area } (m^2)}$$

$$UFRV \left(\frac{m^3}{m^2} \right) = \text{Filtration rate} \left(\frac{m^3}{min. m^2} \right) \times \text{filter run time } (min)$$

Total filtered volume: حجم کل آب صاف شده

Filter surface area: مساحت سطح صافی

Filtration rate: نرخ صاف‌سازی

Filter run time: زمان صاف‌سازی

مثال ۳-۹. میزان کل آب صاف شده در یک زمان معین برابر ۱۸۰۰۰ مترمکعب است. در صورتی که ابعاد صافی ۵/۵ در ۵/۵ متر باشد، UFRV صافی چقدر است؟

$$UFRV \left(\frac{m^3}{m^2} \right) = \frac{18000 (m^3)}{8.5 \times 5.5 (m^2)} = 385 m^3/m^2$$

مثال ۴-۹. متوسط نرخ صافی‌سازی یک صافی برابر ۰/۰۸ $m^3/m^2 \cdot min$ است. در صورتی که زمان صاف‌سازی ۴۲۵۰ دقیقه باشد، مطلوب است محاسبه نرخ UFRV.

$$UFRV \left(\frac{m^3}{m^2} \right) = 0.08 \left(\frac{m^3}{min. m^2} \right) \times 4250 (min) = 340 m^3/m^2$$

۳-۹. نرخ شست‌وشوی معکوس

یکی از مهمترین معیارها در زمان شست‌وشوی معکوس، محاسبه‌ی آب برای هر شست‌وشو است. این معیار وابسته به طراحی صافی و کیفیت آب است. در عمل زمان شست‌وشوی صافی ۵ الی ۱۰ دقیقه است. و یک تا ۵ درصد از آب تولیدشده‌ی آن به این منظور استفاده می‌شود. رابطه زیر برای محاسبه‌ی شست‌وشو به کار می‌رود.

$$\text{Backwash rate} \left(\frac{m^3}{hr. m^2} \right) = \frac{\text{flow rate} \left(\frac{m^3}{hr} \right)}{\text{filter area } (m^2)}$$

Backwash rate: نرخ شست‌وشو

Flow rate: دبی شست‌وشو

Filter area: مساحت صافی

مثال ۵-۹. برای شست‌وشوی یک صافی به ابعاد ۶ متر در ۶ متر، آب با جریان روزانه‌ی ۱۸۰۰۰ متر مکعب نیاز است. نرخ شست‌وشوی این صافی بر حسب مترمکعب بر ساعت بر متر مربع چه قدر است؟

گام اول، تبدیل دبی شست‌وشو از متر مکعب بر روز به متر مکعب بر ساعت است.

$$18000 \frac{m^3}{day} \times \frac{1 day}{24 hr} = 750 m^3/hr$$

گام دوم، محاسبه‌ی نرخ شست‌وشو است.

$$Backwash rate = \frac{750 \left(\frac{m^3}{hr} \right)}{6 \times 6 (m^2)} = 21 \frac{m^3}{hr.m^2}$$

۴-۹. حجم آب شست‌وشو (m^3)

برای تعیین آب مورد نیاز برای شست‌وشو، دبی شست‌وشو و زمان آن باید مشخص باشد.

$$Backwash water volume (m^3) = Backwash flow \left(\frac{m^3}{hr} \right) \times duration of backwash (hr)$$

Backwash water volume: حجم آب شست‌وشو

Backwash flow: دبی شست‌وشو

Duration of backwash: زمان شست‌وشو

مثال ۶-۹. با در نظر گرفتن دبی شست‌وشوی ۲۰۰۰ متر مکعب بر ساعت و زمان شست‌وشوی ۸ دقیقه، چند لیتر آب برای شست‌وشو نیاز است.

$$Backwash water volume (m^3) = 2000 \left(\frac{m^3}{hr} \right) \times 8 min \times \frac{1 hr}{60 min} = 267 m^3$$

۵-۹. ارتفاع تانک آب شست‌وشو (m)

ارتفاع تانک آب شست‌وشو از میزان حجم آب شست‌وشو تعیین می‌شود. ابتدا حجم آب شست‌وشو و سپس ارتفاع تانک آن باید محاسبه شود.

$$depth (m) = \frac{Volume (m^3)}{0.785 \times D^2 (m^2)}$$

Volume: حجم آب شست‌وشو

Depth: ارتفاع

D: قطر تانک

مثال ۷-۹. حدود ۲۵۰ لیتر آب نیاز است تا یک صافی با دبی شست‌وشوی ۱۸۰۰ متر مکعب بر ساعت در مدت ۹ دقیقه شست‌وشو شود. در صورتی که قطر تانک شست‌وشو ۱۵ متر باشد، ارتفاع مورد نیاز آن را محاسبه کنید.





$$\text{depth (m)} = \frac{250 (m^3)}{0.785 \times 15^2} = 1.4 \text{ m}$$

۶-۹. نرخ پمپاژ آب شست‌وشو (مترمکعب بر ساعت)

نرخ پمپاژ آب شست‌وشو برای یک صافی وابسته به نرخ شست‌وشو و مساحت صافی است. این معیار با رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{Backwash pumping rate (m}^3/\text{hr)} = \text{Backwash rate (m}^3/\text{hr.m}^2) \times \text{filter area (m}^2)$$

Backwash pumping rate: نرخ پمپاژ آب شست‌وشو

Backwash rate: نرخ شست‌وشو

Filter area: مساحت صافی

مثال ۸-۹. یک صافی دارای ابعاد ۷/۵ در ۶ متر است. در صورتی که نرخ شست‌وشوی مطلوب آن $50 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$ باشد، نرخ پمپاژ شست‌وشو را محاسبه کنید.

$$\text{Backwash pumping rate (m}^3/\text{hr)} = 50 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr.m}^2} \right) \times 7.5 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 2,250 \text{ m}^3/\text{hr}$$

۷-۹. درصد آب تولیدی برای شست‌وشو

همگام با اندازه‌گیری نرخ و زمان صاف‌سازی، یکی دیگر از مواردی که باید مد نظر قرار گیرد، درصد آب تولیدی برای شست‌وشو است. معادله‌ی به دست آوردن آن در زیر آمده است.

$$\text{Backwash water (\%)} = \frac{\text{backwash water (m}^3\text{)}}{\text{filtered water (m}^3\text{)}} \times 100$$

Backwash water: درصد آب تولیدی برای شست‌وشو

Backwash water: حجم آب شست‌وشو

Filtered water: حجم آب صاف شده

مثال ۹-۹. میزان $43,000$ مترمکعب آب در زمان مشخصی صاف می‌شود. در صورتی که 180 مترمکعب از آن صرف شست‌وشو شود، چند درصد از آب صاف شده، به مصرف شست‌وشو رسیده است؟

$$\text{Backwash water (\%)} = \frac{180 (m^3)}{43000 (m^3)} \times 100 = 0.41\%$$

۸-۹. درصد حجم گلوله‌های گلی

گلوله‌های گلی، جامدات سنگین در جوار لایه‌ی بالایی مصالح صافی هستند که در زمان شست‌وشو به تکه‌های کوچک گلوله‌ای فلوک و ماسه تقسیم می‌شوند. وجود گلوله‌های گلی در صافی به صورت مداوم درصد

می‌شود. گلوله‌های گلی سبب کاهش سطح موثر صافی می‌شوند. برای محاسبه‌ی درصد حجم گلوله‌های گلی از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\% \text{ Mud ball volume} = \frac{\text{mud ball volume (mL)}}{\text{total sample volume (mL)}} \times 100$$

Mud ball volume %: درصد حجم گلوله‌های گلی

Mud ball volume: حجم گلوله‌های گلی

Total sample volume: حجم کل نمونه

مثال ۱۰-۹. مقدار ۳۳۵۰ میلی لیتر از مصالح صافی برای سنجش حجم گلوله‌های گلی برداشت شده است. حجم آب در استوانه‌ی مدرج در هنگامی که نمونه‌ی گلوله‌های گلی به آن اضافه شد از ۵۰۰ به ۵۲۵ میلی لیتر افزایش یافت. درصد حجم گلوله‌های گلی در نمونه چه میزان است؟

گام اول، تعیین حجم گلوله‌های گلی در نمونه است.

$$525 \text{ mL} - 500 \text{ mL} = 25 \text{ mL}$$

گام دوم، محاسبه‌ی درصد گلوله‌های گلی است.

$$\% \text{ Mud ball volume} = \frac{25 \text{ (mL)}}{3350 \text{ (mL)}} \times 100 = 0.75\%$$









فصل دهم: محاسبه‌های کلرزی

۱-۱۰. تعیین دوز کلر

مقدار کلر مورد نیاز یا اضافه‌شده، برحسب میلی گرم بر لیتر (mg/L) و یا کیلوگرم بر روز (kg/day) بیان می‌شود. روابط زیر برای محاسبه‌ی میزان کلر برحسب میلی گرم بر لیتر و کیلوگرم بر روز به کار می‌روند.

$$\text{Chlorine feed rate (kg/day)} = \frac{\text{chlorine } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times \text{flow } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}}\right)}{1000}$$

$$\text{chlorine } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{\text{Chlorine feed rate (kg/day)} \times 1000}{\text{flow } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}}\right)}$$

Chlorine feed rate: میزان استفاده از کلر برحسب کیلوگرم بر روز

Chlorine: دوز مصرف کلر برحسب میلی گرم بر لیتر

Flow: دبی جریان آب

مثال ۱-۱۰. تنظیم کلریناتور را بر حسب کیلوگرم بر روز برای جریان ۱۵۰۰۰ متر مکعب بر روز با دوز کلر ۵ میلی گرم بر لیتر محاسبه کنید.

$$\text{Chlorine feed rate (kg/day)} = \frac{5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 15000 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}}\right)}{1000} = 75 \text{ kg/day}$$

مثال ۲-۱۰. تنظیم یک کلریناتور به این صورت است که در هر ۲۴ ساعت، ۱۴ کیلوگرم کلر تزریق می‌کند. در صورتی که جریان آب ۴۷۳۰ مترمکعب بر روز باشد، دوز کلرزی را بر حسب میلی گرم بر لیتر محاسبه کنید.

$$\text{chlorine } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{14 \text{ (kg/day)} \times 1000}{4730 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}}\right)} = 2.96 \text{ mg/L}$$

مثال ۳-۱۰. جریان ۶ متر مکعب بر دقیقه در حال کلرزی است. در صورتی که کلریناتور در هر ۲۴ ساعت

۲۰ کیلوگرم کلر تزریق کند، میزان مصرف برحسب میلی گرم بر لیتر چه قدر است؟

گام اول، تبدیل واحد جریان از متر مکعب بر دقیقه به متر مکعب بر روز است.

$$6 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}}\right) \times \frac{1440 \text{ min}}{1 \text{ day}} = 8640 \text{ m}^3/\text{day}$$

گام دوم، تعیین میزان تزریق کلر است.

$$\text{chlorine } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{20 \text{ (kg/day)} \times 1000}{8640 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}}\right)} = 2.31 \text{ mg/L}$$

۲-۱۰. محاسبه‌ی دوز کلر، کلر باقی‌مانده و کلر مورد نیاز

اصطلاحات متداول کلرزی:

دوز کلر: به میزان کلر افزوده شده به آب گفته می‌شود. این مقدار از جمع کلر مورد نیاز برای آب تصفیه‌نشده و کلر باقی‌مانده در آب تصفیه‌شده محاسبه می‌شود. دوز کلر برحسب میلی گرم بر لیتر و کیلوگرم بر روز بیان می‌شود.

$$\text{Chlorine dose (mg/L)} = \text{Chlorine demand (mg/L)} + \text{chlorine residual (mg/L)}$$

Chlorine dose: دوز کلر

Chlorine demand: کلر مورد نیاز برای تصفیه‌ی آب

Chlorine residual: کلر باقی‌مانده

کلر مورد نیاز: کلر مورد استفاده برای آهن، منگنز، کدورت، جلبک و میکروارگانیسم‌ها در آب. به دلیل این که واکنش بین کلر و میکروارگانیسم‌ها به صورت آنی نیست، کلر مورد نیاز با زمان تماس رابطه دارد. برای مثال، کلر مورد نیاز بعد از ۵ دقیقه اضافه کردن کلر کمتر از مقدار مورد نیاز بعد از ۲۰ دقیقه اضافه کردن آن می‌باشد. همانند دوز، مقدار مورد نیاز کل نیز برحسب میلی گرم بر لیتر بیان و طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{Chlorine demand (mg/L)} = \text{Chlorine dose (mg/L)} - \text{chlorine residual (mg/L)}$$

کلر باقی‌مانده: به کلر اضافی بعد از مصرف کلر مورد نیاز، کلر باقی‌مانده اطلاق می‌شود. کلر باقی‌مانده به میزان ۰/۲ تا ۰/۷ میلی گرم بر لیتر به میزان قابل توجهی از تکمیل گندزدایی آب اطمینان می‌دهد.

مثال ۴-۱۰. در آزمایش بر روی یک نمونه‌ی آب مشخص شد که به ۱/۷ میلی گرم بر لیتر کلر نیاز دارد. در صورتی که کلر باقی‌مانده‌ی مطلوب ۰/۹ میلی گرم بر لیتر باشد، دوز مناسب تزریق کلر را محاسبه کنید.

$$\text{Chlorine dose (mg/L)} = 1.7 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) + 0.9 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 2.6 \text{ mg/L}$$

مثال ۵-۱۰. در صورتی که کلر مورد نیاز ۳/۲ میلی گرم بر لیتر و کلر باقی‌مانده ۰/۹ میلی گرم بر لیتر و دبی جریان آب ۹۰۰۰ متر مکعب بر روز باشند، تنظیمات کلریناتور بر حسب کیلوگرم بر روز به چه صورت باید باشد؟ گام اول، تعیین دوز تزریق کلر بر حسب میلی گرم بر لیتر است.

$$\text{Chlorine dose (mg/L)} = 3.2 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) + 0.9 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 4.1 \text{ mg/L}$$

گام دوم تعیین دوز تزریق بر حسب کیلوگرم بر روز است.

$$\text{Chlorine feed rate (kg/day)} = \frac{4.1 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 9000 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{1000} = 36.9 \text{ kg/day}$$



۳-۱۰. محاسبه‌ی نقطه‌ی شکست کلر

به منظور تولید کلر باقی‌مانده، باید به اندازه‌ای کلر به آب افزوده شود، که کلر به اصطلاح به نقطه‌ی شکست برسد. زمانی که کلر به آب‌های طبیعی افزوده می‌شود، قبل از آن که گندزدایی انجام شود، کلر با مواد شیمیایی آب واکنش می‌دهد. هرچند که کلر باقی‌مانده در آب قابل شناسایی خواهد بود، اما کماکان کلر در حالت ترکیب شده قرار داشته و از قدرت گندزدایی پایینی برخوردار است. افزودن کلر در این حالت باعث کاهش کلر باقی‌مانده می‌شود زیرا کلر اضافه شده ترکیبات کلردار را از بین می‌رود. در این بخش آب دارای بو و مزه‌ای مانند استخر است. برای اجتناب از این بو و مزه، باید کلر بیشتری به منظور افزایش کلر آزاد اضافه کرد. کلر آزاد دارای قدرت گندزدایی است. نقطه‌ای که در آن تمامی ترکیبات کلردار نابود شده و کلر آزاد در حال شکل‌گیری است، نقطه‌ی شکست کلر گفته می‌شود.

به منظور محاسبه‌ی افزایش کلر باقی‌مانده مورد انتظار که متأثر از افزایش تزریق کلر است، از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود.

$$\text{expected increase } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{\text{Increase in chlorine dose (kg/day)} \times 1000}{\text{flow } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}$$

Increase in chlorine dose: میزان افزایش دوز کلر بر حسب کیلوگرم در روز

Expected increase: میزان انتظاری کلر آزاد

Flow: دبی جریان آب

مثال ۶-۱۰. تزریق یک کلریناتور به میزان یک کیلوگرم بر روز افزایش یافته است. پیش از این افزایش در تزریق کلر، میزان کلر آزاد برابر ۰/۲ میلی گرم بر لیتر بوده است. بعد از افزایش دوز تزریق، در عمل میزان کلر آزاد به ۰/۵ میلی گرم بر لیتر رسیده است. در صورتی که متوسط دبی روزانه‌ی جریان آب ۴۸۰۰ متر مکعب باشد، آیا آب کلرزی شده، بعد از نقطه‌ی شکست قرار دارد؟

لازم است دقت شود که در این گونه مسائل، باید میزان عملی کلر آزاد بعد از افزایش دوز کلر با میزان کلر آزاد مورد انتظار که از محاسبه به دست می‌آید، مقایسه شود. در صورتی که میزان عملی، از میزان مورد انتظار بیشتر باشد، آب در حالت **بعد از نقطه‌ی شکست** قرار دارد. اما در صورتی که میزان کلر مورد انتظار از میزان عملی بیشتر باشد، آب هنوز به نقطه شکست نرسیده است.

گام اول، تعیین میزان عملی افزایش کلر آزاد اندازه‌گیری شده موجود در آب است، که در این مساله برابر ۰/۳ میلی گرم بر لیتر است.

$$\left(0.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0.2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 0.3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$



گام دوم، تعیین میزان افزایش کلر آزاد مورد انتظار از محاسبه است که طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{expected increase } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{1 \text{ (kg/day)} \times 1000}{4800 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)} = 0.2 \text{ mg/L}$$

با توجه به این که کلر آزاد در آب در عمل به $0/3$ میلی گرم بر لیتر افزایش یافته است، و میزان افزایش کلر آزاد مورد انتظار از محاسبه $0/2$ میلی گرم بر لیتر است، در نتیجه به علت بیشتر بودن میزان عملی از میزان مورد انتظار کلر آزاد، آب در حالت بعد از نقطه‌ی شکست قرار دارد.

مثال ۷-۱۰. یک کلریناتور با دوز تزریق ۸ کیلوگرم بر روز باعث ایجاد کلر آزاد به میزان $0/3$ میلی گرم بر لیتر در آب می‌شود. زمانی که دوز تزریق کلریناتور به ۱۰ کیلوگرم بر روز رسید، کلر آزاد برابر $0/4$ میلی گرم بر لیتر شده است. در صورتی که متوسط دبی جریان آب 5300 متر مکعب بر روز باشد، آیا آب کلرزی شده بعد از نقطه‌ی شکست قرار دارد؟

گام اول، تعیین میزان عملی افزایش کلر آزاد اندازه‌گیری شده موجود در آب است و در این مساله برابر $0/1$ میلی گرم بر لیتر است.

$$(0.4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0.3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 0.1 \frac{\text{mg}}{\text{L}})$$

گام دوم، تعیین میزان افزایش کلر آزاد مورد انتظار از محاسبه است که طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{expected increase } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{2 \text{ (kg/day)} \times 1000}{5300 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)} = 0.37 \text{ mg/L}$$

با توجه به این که کلر آزاد آب در عمل به $0/1$ میلی گرم بر لیتر افزایش یافته است، و میزان افزایش کلر آزاد مورد انتظار از محاسبه $0/37$ میلی گرم بر لیتر است، در نتیجه به علت بیشتر بودن میزان کلر مورد انتظار از مقدار عملی آن، آب در حالت قبل از نقطه‌ی شکست قرار دارد.

۴-۱۰. محاسبه نرخ تزریق هیپوکلریت خشک

متداول‌ترین نوع هیپوکلریت خشک، هیپوکلریت کلسیم است که حاوی ۶۵ تا ۷۰ درصد کلر فعال است. به دلیل این که هیپوکلریت‌ها خالص نیستند، باید مقداری از آن‌ها تزریق شود تا گندزدایی مناسب انجام شود. رابطه‌ای که برای محاسبه‌ی میزان هیپوکلریت لازم استفاده می‌شود، از قرار زیر است.

$$\text{Hypochlorite } \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) = \frac{\text{chlorine } \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right)}{\frac{\% \text{ available chlorine}}{100}}$$

Hypochlorite: هیپوکلریت برحسب کیلوگرم بر روز

%available chlorine: درصد کلر موجود در هیپوکلریت

Chlorine: کلر بر حسب کیلوگرم بر روز





مثال ۸-۱۰. جریان آب با دبی ۳۴۰۰ متر مکعب بر روز به کلر با دوز ۳/۱ میلی گرم بر لیتر نیاز دارد. در صورتی که از هیپوکلریت کلسیم ۶۵ درصد استفاده شود، مقدار مصرف هیپوکلریت بر حسب کیلوگرم بر روز چه میزان است؟

گام اول، تعیین میزان مصرف کلر بر حسب کیلوگرم بر روز است.

$$\text{Chlorine feed rate (kg/day)} = \frac{3.1 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 3400 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{1000} = 10.54 \text{ kg/day}$$

گام دوم، تعیین میزان هیپوکلریت لازم است.

$$\text{Hypochlorite} \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) = \frac{10.54 \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right)}{\frac{65}{100}} = 16.2 \text{ kg/day}$$

مثال ۹-۱۰. برای گندزدایی آب با دبی ۴۱۶۰ متر مکعب بر روز، به روزانه ۱۸ کیلوگرم هیپوکلریت با خلوص ۶۵ درصد نیاز است. دوز مصرف کلر بر حسب میلی گرم بر لیتر چه قدر است؟

گام اول، تعیین میزان کلر خالص مورد نیاز بر حسب کیلوگرم بر روز است.

$$18 \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) = \frac{\text{chlorine} \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right)}{\frac{65}{100}} = 11.7 \text{ kg/day}$$

گام دوم، تبدیل واحد دوز مصرف کلر از کیلوگرم در روز به میلی گرم بر لیتر با توجه به دبی آب است.

$$\text{chlorine} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{11.7 \left(\frac{\text{kg/day}}{\text{day}} \right) \times 1000}{4160 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)} = 2.81 \text{ mg/L}$$

۵-۱۰. محاسبه‌ی نرخ تزریق محلول هیپوکلریت

هیپوکلریت مایع (مانند هیپوکلریت سدیم)، مایعی به رنگ زرد مایل به سبز است و حاوی ۵/۲۵ تا ۱۶ درصد کلر است. طبق رابطه‌ی زیر میزان هیپوکلریت لازم را می‌توان محاسبه کرد.

$$\text{Hypochlorite} \left(\frac{\text{L}}{\text{day}} \right) = \frac{\text{chlorine} \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right)}{\frac{\% \text{ available chlorine}}{100}}$$

Hypochlorite: هیپوکلریت بر حسب لیتر بر روز

%available chlorine: درصد کلر موجود در هیپوکلریت

Chlorine: کلر بر حسب کیلوگرم بر روز

مثال ۱۰-۱۰. آب چاه توسط یک هیپوکلریناتور گندزدایی می‌شود. محلول هیپوکلریت حاوی ۳ درصد کلر

است. کلر با دوز ۱/۳ میلی گرم بر لیتر برای گندزدایی موثر نیاز است. در صورتی که دبی آب ۱۹۰۰ متر مکعب بر روز باشد، روزانه به چند لیتر از محلول هیپوکلریت نیاز است؟

گام اول، تعیین میزان مصرف کلر بر حسب کیلوگرم در روز است.

$$\text{Chlorine (kg/day)} = \frac{1.3 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 1900 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{1000} = 2.47 \text{ kg/day}$$

گام دوم، تعیین میزان هیپوکلریت مورد نیاز بر حسب L/day است.

$$\text{Hypochlorite} \left(\frac{\text{L}}{\text{day}} \right) = \frac{2.47 \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right)}{\frac{3}{100}} = 82 \text{ L/day}$$

۶-۱۰. محاسبه‌ی درصد قدرت محلول هیپوکلریت تهیه شده از هیپوکلریت خشک

درصد قدرت کلر محلول هیپوکلریت تهیه شده از هیپوکلریت خشک طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\% \text{ Chlorine strength} = \frac{\text{hypochlorite (kg)} \times \frac{\% \text{ available chlorine}}{100}}{\text{water (kg)} + \text{hypochlorite (kg)} \times \frac{\% \text{ available chlorine}}{100}} \times 100$$

Chlorine strength %: درصد قدرت کلر

Hypochlorite: هیپوکلریت بر حسب کیلوگرم

available chlorine %: درصد کلر موجود در هیپوکلریت

Water: آب

مثال ۱۰-۱۱. در صورتی که ۲ کیلوگرم کلسیم هیپوکلریت با خلوص ۶۵ درصد به ۶۰ لیتر آب اضافه شود، درصد قدرت کلر (وزنی) محلول چه میزان است؟

در صورتی که وزن ۶۰ لیتر آب، ۶۰ کیلوگرم فرض شود، با معادله‌ی زیر قدرت کلر محلول محاسبه می‌شود.

$$\% \text{ Chlorine strength} = \frac{2 \text{ (kg)} \times \frac{65}{100}}{60 \text{ (kg)} + 2 \text{ (kg)} \times \frac{65}{100}} \times 100 = 2.1\%$$

۷-۱۰. محاسبه‌ی درصد قدرت محلول هیپوکلریت تهیه شده از هیپوکلریت مایع

درصد قدرت کلر محلول هیپوکلریت تهیه شده از هیپوکلریت مایع طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} \text{Liquid hypochlorite (L)} \times \frac{\% \text{ available chlorine}}{100} \\ = \text{hypochlorite solution (L)} \times \frac{\% \text{ strength of hypochlorite}}{100} \end{aligned}$$



Liquid hypochlorite: مقدار هیپوکلریت مایع به لیتر
 available chlorine %: درصد کلر موجود در هیپوکلریت
 Hypochlorite solution: مقدار محلول هیپوکلریت به لیتر
 Strength of hypochlorite %: درصد قدرت محلول هیپوکلریت

مثال ۱۰-۱۲. از هیپوکلریت مایع ۱۲ درصد برای ساخت محلول هیپوکلریت استفاده شده است. در صورتی که ۱۳ لیتر هیپوکلریت مایع با آب ترکیب شود تا ۹۵ لیتر محلول هیپوکلریت تشکیل شود، درصد قدرت محلول هیپوکلریت را محاسبه کنید.

$$13 (L) \times \frac{12}{100} = 95 (L) \times \frac{x}{100}$$

$$x = \frac{13 \times 12}{95} \rightarrow x = 1.6\%$$

۸-۱۰. محاسبه‌ی مصرف مواد شیمیایی

به منظور محاسبه‌ی میزان مصرف مواد شیمیایی متوسط روزانه برحسب کیلوگرم بر روز (kg/day) و لیتر بر روز (L/day) از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$Average\ use\ (\frac{kg}{day}) = \frac{total\ chemical\ used\ (kg)}{number\ of\ days}$$

$$Average\ use\ (\frac{L}{day}) = \frac{total\ chemical\ used\ (L)}{number\ of\ days}$$

Average use (kg/day): متوسط مصرف بر حسب کیلوگرم بر روز

Average use (L/day): متوسط مصرف بر حسب لیتر بر روز

Total chemical used (kg): مقدار کل مواد شیمیایی استفاده شده بر حسب کیلوگرم

Total chemical used (L): مقدار کل مواد شیمیایی استفاده شده بر حسب لیتر

Number of days: تعداد روزهای استفاده از مواد شیمیایی

همچنین به منظور محاسبه‌ی مواد شیمیایی در مخازن ذخیره، از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$Inventory\ supply\ (days) = \frac{total\ chemical\ in\ inventory\ (kg)}{average\ use\ (\frac{kg}{day})}$$

$$Inventory\ supply\ (days) = \frac{total\ chemical\ in\ inventory\ (L)}{average\ use\ (\frac{L}{day})}$$

Inventory supply: تعداد روزهایی که مواد داخل مخزن ذخیره کافی هستند.

Total chemical in inventory (kg): کل مواد شیمیایی در مخزن بر حسب کیلوگرم



Total chemical in inventory (L): کل مواد شیمیایی در مخزن بر حسب لیتر

Average use (kg/day): مصرف متوسط روزانه‌ی مواد شیمیایی بر حسب کیلوگرم بر روز

Average use (L/day): مصرف متوسط روزانه‌ی مواد شیمیایی بر حسب لیتر بر روز

مثال ۱۰-۱۳. مقادیر مصرف کلسیم هیپوکلریت بر حسب کیلوگرم در روزهای هفته طبق جدول زیر می‌باشد.

با توجه به اطلاعات داده شده، متوسط مصرف این ماده در طول هفته چه میزان است؟

روز هفته	مقدار مصرف (kg/day)
شنبه	۲۳
یکشنبه	۲۱
دوشنبه	۲۲
سه‌شنبه	۲۵
چهارشنبه	۲۳
پنج‌شنبه	۲۰
جمعه	۲۷

$$Average\ use\ \left(\frac{kg}{day}\right) = \frac{23 + 21 + 22 + 25 + 23 + 20 + 27}{7} = \frac{161}{7} = 23\ kg/day$$

مثال ۱۰-۱۴. متوسط مصرف روزانه‌ی هیپوکلریت کلسیم در یک تصفیه‌خانه ۱۸ کیلوگرم است. در صورتی

که کل مواد شیمیایی در مخزن ذخیره ۵۰۰ کیلوگرم باشد، این میزان ذخیره برای چند روز این تصفیه‌خانه

کافی است؟

$$Inventory\ supply\ (days) = \frac{500\ (kg)}{18\ \left(\frac{kg}{day}\right)} = 27\ days$$









فصل یازدهم: محاسبه‌های سختی‌زدایی

۱-۱۱. سختی آب

سختی آب به علت وجود یون‌های فلزی با بار مثبت در آن است. متداول‌ترین یون‌های عامل سختی، کلسیم و منیزیم هستند. دیگر عامل‌های ایجاد کننده‌ی سختی آب، یون‌های آهن، استرانسیم و باریم می‌باشند. دو ترکیب اصلی سختی آب، کلسیم و منیزیم هستند. در صورتی که غلظت این دو عنصر در آب مشخص باشد، سختی کل آب قابل محاسبه است. برای انجام این محاسبه، وزن معادل کلسیم، منیزیم و کربنات کلسیم باید مشخص باشد. وزن معادل آن‌ها موارد در جدول زیر داده شده است.

جدول ۱-۱۱: وزن معادل عناصر کلسیم و منیزیم و کربنات کلسیم

وزن معادل	
کلسیم (Ca)	۲۰/۰۴
منیزیم (Mg)	۱۲/۱۵
کلسیم کربنات (CaCO ₃)	۵۰/۰۴۵

۲-۱۱. محاسبه‌ی سختی کلسیم بر حسب CaCO₃

$$\frac{\text{calcium hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3}{\text{equivalent weight of } \text{CaCO}_3} = \frac{\text{calcium (mg/L)}}{\text{equivalent weight of calcium}}$$

Calcium hardness (mg/L) as CaCO₃: سختی کلسیمی بر حسب CaCO₃

Equivalent weight of CaCO₃: وزن معادل کلسیم کربنات با توجه به جدول ۱-۱۱

Calcium (mg/L): مقدار کلسیم بر حسب میلی گرم بر لیتر

Equivalent weight of calcium: وزن معادل کلسیم با توجه به جدول ۱-۱۱

مثال ۱-۱۱. یک نمونه‌ی آب ۵۱ میلی گرم بر لیتر کلسیم دارد. سختی کلسیم این نمونه بر حسب CaCO₃ چه میزان است؟

$$\frac{\text{calcium hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3}{\text{equivalent weight of } \text{CaCO}_3} = \frac{\text{calcium (mg/L)}}{\text{equivalent weight of calcium}} \rightarrow$$

$$\frac{x}{50.045} = \frac{51 \text{ (mg/L)}}{20.04} \rightarrow x = 124.8 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ Ca as } \text{CaCO}_3$$

۳-۱۱. محاسبه‌ی سختی منیزیم بر حسب CaCO₃

$$\frac{\text{magnesium hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3}{\text{equivalent weight of } \text{CaCO}_3} = \frac{\text{magnesium (mg/L)}}{\text{equivalent weight of magnesium}}$$

Magnesium hardness (mg/L) as CaCO_3 : سختی منیزیم بر حسب CaCO_3

Equivalent weight of CaCO_3 : وزن معادل کلسیم کربنات با توجه به جدول ۱-۱۱

Magnesium (mg/L): مقدار منیزیم بر حسب میلی گرم بر لیتر

Equivalent weight of calcium: وزن معادل منیزیم با توجه به جدول ۱-۱۱

مثال ۲-۱۱. یک نمونه‌ی آب ۱۶ میلی گرم بر لیتر منیزیم است. سختی منیزیمی این نمونه بر حسب CaCO_3 چه میزان است؟

$$\frac{\text{magnesium hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3}{\text{equivalent weight of } \text{CaCO}_3} = \frac{\text{magnesium (mg/L)}}{\text{equivalent weight of magnesium}} \rightarrow$$

$$\frac{x}{50.045} = \frac{16 \text{ (mg/L)}}{12.15} \rightarrow x = 65.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ Mg as } \text{CaCO}_3$$

۴-۱۱. محاسبه‌ی سختی کل

کلسیم و منیزیم، عامل‌های اصلی سختی آب هستند. به منظور تعیین سختی کل، سختی این دو عنصر بر حسب CaCO_3 محاسبه و با هم جمع می‌شوند.

$$\text{Total hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 = \text{calcium hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 + \text{magnesium hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3$$

Total hardness (mg/L) as CaCO_3 : سختی کل بر حسب میلی گرم بر لیتر CaCO_3

Calcium hardness (mg/L) as CaCO_3 : سختی کلسیمی بر حسب میلی گرم بر لیتر CaCO_3

Magnesium hardness (mg/L) as CaCO_3 : سختی منیزیمی بر حسب میلی گرم بر لیتر CaCO_3

مثال ۳-۱۱. سختی کل بر حسب CaCO_3 را برای نمونه‌ی آبی با ۲۸ میلی گرم بر لیتر کلسیم و ۹ میلی گرم بر لیتر منیزیم مشخص کنید.

گام اول، تعیین سختی کلسیمی بر حسب CaCO_3 است.

$$\frac{\text{calcium hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3}{\text{equivalent weight of } \text{CaCO}_3} = \frac{\text{calcium (mg/L)}}{\text{equivalent weight of calcium}} \rightarrow$$

$$\frac{x}{50.045} = \frac{28 \text{ (mg/L)}}{20.04} \rightarrow x = 69.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ Ca as } \text{CaCO}_3$$

گام دوم، تعیین سختی منیزیمی بر حسب CaCO_3 است.

$$\frac{\text{magnesium hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3}{\text{equivalent weight of } \text{CaCO}_3} = \frac{\text{magnesium (mg/L)}}{\text{equivalent weight of magnesium}} \rightarrow$$

$$\frac{x}{50.045} = \frac{9 \text{ (mg/L)}}{12.15} \rightarrow x = 37.1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ Mg as } \text{CaCO}_3$$





گام سوم، تعیین سختی کل برحسب CaCO_3 است.

$$\text{Total hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 = \text{calcium hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 + \text{magnesium hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3$$

$$\text{Total hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 = 69.9 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) + 37.1 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \rightarrow \text{Total hardness} = 107 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ as } \text{CaCO}_3$$

۵-۱۱. محاسبه‌ی سختی کربناتی و بی کربناتی

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، سختی کل متشکل از سختی کلسیم و منیزیم است. زمانی که سختی کل مشخص شود، از آن برای تعیین اصطلاحی دیگر مانند سختی کربناتی و بی کربناتی می‌توان استفاده کرد. زمانی که سختی کل از مجموع قلیائیت کربناتی و بی کربناتی بیشتر باشد، به آن مقدار از سختی که برابر با قلیائیت کل است سختی کربناتی و به بقیه‌ی سختی کل، سختی بی کربناتی گفته می‌شود. زمانی که سختی کل برابر و یا کمتر از مجموع قلیائیت کربناتی و بی کربناتی باشد، تمامی سختی به صورت سختی کربناتی است و سختی بی کربناتی وجود ندارد. برای واضح‌تر شدن مطالب مطرح شده، روابط زیر آورده شده است.

حالت ۱. به صورت کلی می‌توان گفت که سختی کل برابر است با سختی کربناتی و بی کربناتی:

$$\text{Total hardness} = \text{carbonate hardness} + \text{noncarbonate hardness}$$

Total hardness: سختی کل

Carbonate hardness: سختی کربناتی

Noncarbonate: سختی بی کربناتی

حالت ۲. زمانی که قلیائیت برحسب CaCO_3 از سختی کل بیشتر است، تمامی سختی، به صورت سختی کربناتی است:

$$\text{Total hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 = \text{carbonate hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3$$

Total hardness (mg/L) as CaCO_3 : سختی کل بر حسب میلی گرم بر لیتر CaCO_3

Carbonate hardness (mg/L) as CaCO_3 : سختی کربناتی بر حسب میلی گرم بر لیتر CaCO_3

حالت ۳. زمانی که قلیائیت برحسب CaCO_3 از سختی کل کمتر است، مقدار قلیائیت، نشان دهنده‌ی سختی کربناتی است و باقی مانده‌ی آن، سختی بی کربناتی است.

$$\text{Total hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 = \text{carbonate hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 + \text{noncarbonate hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3$$

Total hardness (mg/L) as CaCO_3 : سختی کل بر حسب CaCO_3

Carbonate hardness (mg/L) as CaCO_3 : سختی کربناتی بر حسب میلی گرم بر لیتر CaCO_3

Noncarbonate hardness (mg/L) as CaCO_3 : سختی بی کربناتی بر حسب میلی گرم بر لیتر CaCO_3

حالت ۴. زمانی که سختی کربناتی به صورت قلیائیت نشان داده شود:

$$Total\ hardness\ \left(\frac{mg}{L}\right)\ as\ CaCO_3 = alkalinity\ \left(\frac{mg}{L}\right)\ as\ CaCO_3 + noncarbonate\ hardness\ \left(\frac{mg}{L}\right)\ as\ CaCO_3$$

Total hardness (mg/L) as CaCO₃: سختی کل بر حسب میلی گرم بر لیتر CaCO₃

Alkalinity (mg/L) as CaCO₃: سختی قلیائیت بر حسب میلی گرم بر لیتر CaCO₃

Noncarbonate hardness (mg/L) as CaCO₃: سختی بی کربناتی بر حسب میلی گرم بر لیتر CaCO₃

مثال ۴-۱۱. در یک نمونه ی آب، قلیائیت ۱۱۰ میلی گرم بر لیتر بر حسب CaCO₃ و سختی کل ۱۰۵ میلی گرم بر لیتر سختی کل بر حسب CaCO₃ گزارش شده است. سختی کربناتی و بی کربناتی این نمونه چه قدر است؟

به دلیل آن که قلیائیت بیش تر از سختی کل است، تمامی سختی، از نوع سختی کربناتی است.

$$Total\ hardness\ \left(\frac{mg}{L}\right)\ as\ CaCO_3 = carbonate\ hardness\ \left(\frac{mg}{L}\right)\ as\ CaCO_3$$

$$105\ \left(\frac{mg}{L}\right)\ as\ CaCO_3 = carbonate\ hardness$$

مثال ۵-۱۱. قلیائیت یک نمونه ی آب، برابر ۸۰ میلی گرم بر لیتر بر حسب CaCO₃ است. در صورتی که سختی کل نمونه، برابر ۱۱۲ میلی گرم بر لیتر بر حسب CaCO₃ باشد، سختی کربناتی و بی کربناتی بر حسب CaCO₃ چه قدر است؟

قلیائیت از سختی کل کم تر است، بنابراین طبق حالت ۳، هر دو سختی کربناتی و بی کربناتی در سختی نمونه ی آب وجود دارد.

$$Total\ hardness\ \left(\frac{mg}{L}\right)\ as\ CaCO_3 = carbonate\ hardness\ \left(\frac{mg}{L}\right)\ as\ CaCO_3 + noncarbonate\ hardness\ \left(\frac{mg}{L}\right)\ as\ CaCO_3$$

$$\rightarrow 112\ \left(\frac{mg}{L}\right)\ as\ CaCO_3 = 80\ \left(\frac{mg}{L}\right) + x\ \left(\frac{mg}{L}\right)$$

$$\rightarrow x = 32\ \frac{mg}{L}\ noncarbonate\ hardness$$

۶-۱۱. تعیین قلیائیت

قلیائیت، ظرفیت خنثی سازی اسیدی آب است. قلیائیت آب های سطحی معمولاً به علت محتوای کربنات، بی کربنات و هیدروکسید آن ها است و اغلب بر اساس میزان غلظت این ترکیبات تفسیر می شود. هر چه قلیائیت آب بیش تر باشد، ظرفیت آن برای خنثی سازی اسید بیش تر می شود و بالعکس. به منظور شناسایی انواع مختلف قلیائیت آب، شامل قلیائیت فنول فتالئین و قلیائیت کل از روابط زیر استفاده می شود.

$$Phenolphthalein\ alkalinity\ \left(\frac{mg}{L}\right)\ as\ CaCO_3 = \frac{A \times N \times 50,000}{mL\ of\ sample}$$

$$Total\ alkalinity\ \left(\frac{mg}{L}\right)\ as\ CaCO_3 = \frac{B \times N \times 50,000}{mL\ of\ sample}$$



Phenolphthalein alkalinity (mg/L) as CaCO_3 : قلیائیت فنول فتالئین بر حسب میلی گرم بر لیتر CaCO_3

Total alkalinity (mg/L) as CaCO_3 : قلیائیت کل بر حسب میلی گرم بر لیتر CaCO_3

A: محلول تیتراسیون برای $\text{pH}=8.3$

B: محلول تیتراسیون برای تیتراسون به $\text{pH}=4.5$

N: نرمالیت اسید (برای این آزمون قلیائیت، 0.02 N NH_2SO_4)

50,000: ضریب تبدیل برای تبدیل نرمالیت به واحد CaCO_3

mL of sample: حجم نمونه بر حسب میلی لیتر

مثال ۷-۱۱. یک نمونه ۱۰۰ میلی لیتری از آب برای تعیین قلیائیت آزمایش می شود. نرمالیت محلول تیتراسیون سولفوریک اسید، 0.02 N است. در صورتی که اسیدی برای تیتراسیون تا $\text{pH}=8.3$ مصرف نشده باشد و $7/6$ میلی لیتر اسید برای تیتراسیون تا $\text{pH}=4.5$ استفاده شود، قلیائیت کل و فنول فتالئین نمونه چه قدر است؟

$$\text{Phenolphthalein alkalinity } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \text{ as } \text{CaCO}_3 = \frac{0 \text{ mL} \times 0.02 \text{ N} \times 50,000}{100 \text{ mL}} = 0 \text{ mg/L}$$

$$\text{Total alkalinity } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \text{ as } \text{CaCO}_3 = \frac{7.6 \times 0.02 \text{ N} \times 50,000}{100 \text{ mL}} = 76 \text{ mg/L}$$

۷-۱۱. تعیین قلیائیت کربناتی، بی کربناتی و هیدروکسید

نتیجه‌ی آزمون فنول فتالئین و قلیائیت کل (با فرض این که عامل قلیائیت کربنات، بی کربنات و هیدروکسید باشد) طبق جدول زیر تفسیر می شود.

جدول ۷-۱۱: تفسیر نتایج آزمون فنول فتالئین و قلیائیت

نتایج تیتراسیون	قلیائیت (میلی گرم بر لیتر بر حسب CaCO_3)		
	قلیائیت بی کربناتی	قلیائیت کربناتی	قلیائیت هیدروکسیدی
$P = 0$	T	0	0
$P < 0.5 \text{ T}$	$T - 2P$	2P	0
$P = 0.5 \text{ T}$	0	2P	0
$P > 0.5 \text{ T}$	0	$2T - 2P$	$2P - T$
$P = T$	0	0	T

نکته: T: قلیائیت کل و P: قلیائیت فنول فتالئین

مثال ۷-۱۱. نتایج تیتراسیون قلیائیت یک نمونه‌ی آب به ترتیب زیر است. قلیائیت فنول فتالئین، بی کربناتی، کربناتی و هیدروکسیدی چه قدر است؟
- حجم نمونه ۱۰۰ میلی لیتر است.

- $1/4$ میلی لیتر محلول تیتراسیون برای $\text{pH}=8.3$ استفاده شده است.



- ۲/۴ میلی لیتر محلول تیتراسیون برای $pH=4.5$ استفاده شده است.

- نرمالیت‌های اسید $0.02 \text{ NH}_2\text{SO}_4$ است.

$$\text{Phenolphthalein alkalinity } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 = \frac{1.4 \text{ mL} \times 0.02 \text{ N} \times 50,000}{100 \text{ mL}} = 14 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ as } \text{CaCO}_3$$

$$\text{Total alkalinity } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 = \frac{2.4 \times 0.02 \text{ N} \times 50,000}{100 \text{ mL}} = 24 \text{ mg/L as } \text{CaCO}_3$$

نتیجه ($P > 0.5 \text{ T}$) شده است. با توجه به جدول ۱۱-۲، مقادیر خواسته شده به این صورت محاسبه می‌شود:

نتایج تیتراسیون	قلیائیت (mg/L بر حسب CaCO_3)		
	قلیائیت بی‌کربناتی	قلیائیت کربناتی	قلیائیت هیدروکسیدی
$P > 0.5 \text{ T}$	0	$2\text{T} - 2\text{P} = 20$	$2\text{P} - \text{T} = 4$

۸-۱۱. محاسبه‌ی تعیین دوز آهک برای حذف سختی کربناتی

در فرآیند سختی‌زدایی با استفاده از خاکستر آهک - سودا، از آهک $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ و خاکستر سودا (Na_2CO_3) برای حذف سختی استفاده می‌شود. سختی کربناتی با آهک ترکیب می‌شود. سختی بی‌کربناتی نیاز به خاکستر سودا برای ته‌نشینی دارد. جرم مولکولی مواد شیمیایی و ترکیبات مختلف برای محاسبه‌ی سختی‌زدایی با آهک - سودا طبق جدول زیر است.

جدول ۱۱-۳- جرم مولکولی مواد شیمیایی و ترکیبات مختلف برای محاسبه‌ی سختی‌زدایی با آهک - سود

وزن مولکولی	مواد و ترکیبات شیمیایی
۵۶	Quicklime (CaO)
۷۴	Hydrated lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)
۲۴/۳	Magnesium (Mg^{2+})
۴۴	Carbon dioxide (CO_2)
۵۸/۳	Magnesium hydroxide ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)
۱۰۰	Soda ash (Na_2CO_3)
۱۰۰	Alkalinity (as CaCO_3)
۱۰۰	Hardness (as CaCO_3)

به منظور محاسبه‌ی دوز آهک خشک و آهک هیدراته برحسب میلی گرم بر لیتر از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود.

$$\text{Quicklime (CaO) feed } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{(A + B + C + D) \times 1.15}{\frac{\% \text{ purity of lime}}{100}}$$

Purity of lime %: درصد خلوص آهک

A: CO_2 در آب ($\text{mg/L as } \text{CO}_2 * 56/44$)



B: قلیائیت بی کربناتی حذف شده در سختی‌زدایی ($\text{mg/L as CaCO}_3 * 56/100$)

C: قلیائیت هیدروکسید در جریان خروجی سختی‌زدایی ($\text{mg/L as CaCO}_3 * 56/100$)

D: منیزیم حذف شده در سختی‌زدایی ($\text{mg/L as Mg}^{2+} * 56/24.3$)

نکته: برای محاسبه‌ی دوز آهک هیدراته از فرمول بالا استفاده می‌شود با این تفاوت که در به دست آوردن مقادیر A, B, C و D به جای عدد ۵۶ از عدد ۷۴ استفاده می‌شود.

مثال ۸-۱۱. مشخصات نمونه‌ی آبی به شرح زیر است. میزان آهک هیدراته ۹۰ درصد (بر حسب میلی گرم بر لیتر) برای سختی‌زدایی چه قدر است؟

۴ میلی گرم بر لیتر CO_2 بر حسب CO_2 ، قلیائیت کل ۱۷۵ میلی گرم بر لیتر بر حسب CaCO_3 و ۲۰ میلی گرم بر لیتر منیزیم بر حسب Mg^{2+}

گام اول، تعیین مقادیر A, B, C و D است.

$$A = \text{CO}_2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \left(\frac{74}{44}\right) = 4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \left(\frac{74}{44}\right) = 7 \text{ mg/L}$$

$$B = \text{Alkalinity} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \left(\frac{74}{100}\right) = 175 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \left(\frac{74}{100}\right) = 130 \text{ mg/L}$$

$$C = 0$$

$$D = \text{Mg}^{2+} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \left(\frac{74}{24.3}\right) = 20 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \left(\frac{74}{24.3}\right) = 61 \text{ mg/L}$$

گام دوم، تخمین مقدار مورد نیاز آهک هیدراته است.

$$\text{hydrated lime feed} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{(A + B + C + D) \times 1.15}{\frac{\% \text{ purity of lime}}{100}} \rightarrow$$

$$\text{hydrated lime feed} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{(7 + 130 + 0 + 61) \times 1.15}{\frac{90}{100}} = 253 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ Ca(OH)}_2$$

۹-۱۱. محاسبه‌ی حذف سختی بی کربناتی

از خاکستر آهک - سودا برای ته‌نشینی و حذف سختی بی کربناتی استفاده می‌شود. برای تعیین میزان لازم این ماده، از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$\text{Total hardness} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as CaCO}_3 = \text{carbonate hardness} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as CaCO}_3 + \text{noncarbonate hardness} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as CaCO}_3$$

$$\text{Soda ash} (\text{Na}_2\text{CO}_3) \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = (\text{noncarbonate}) \text{ hardness} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ as CaCO}_3\right) \times \left(\frac{106}{100}\right)$$

Total hardness (mg/L) as CaCO_3 : سختی کل بر حسب CaCO_3

Carbonate hardness (mg/L) as CaCO_3 : سختی کربناتی بر حسب CaCO_3

Noncarbonate hardness (mg/L) as CaCO_3 : سختی بی کربناتی بر حسب CaCO_3

Soda ash (Na_2CO_3): خاکستر سودا - آهک

مثال ۹-۱۱. میزان سودا-آهک لازم را برای سختی زدایی نمونه‌ی آبی با سختی کل ۱۹۲ میلی گرم بر لیتر و قلیائیت کل ۱۰۳ میلی گرم بر لیتر تعیین کنید.

گام اول تعیین سختی بی کربناتی از رابطه زیر است.

$$\begin{aligned} \text{Total hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 &= \text{carbonate hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 + \text{noncarbonate hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \text{ as } \text{CaCO}_3 \\ \rightarrow 192 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) &= 103 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) + x \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \rightarrow x = 89 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

گام دوم، تعیین میزان لازم خاکستر مواد است.

$$\begin{aligned} \text{Soda ash } (\text{Na}_2\text{CO}_3) \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) &= (\text{noncarbonate hardness } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ as } \text{CaCO}_3\right) \times \left(\frac{106}{100}\right) \rightarrow \\ x \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) &= 89 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \left(\frac{106}{100}\right) \rightarrow x = 94 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ soda ash} \end{aligned}$$

۱۰-۱۱. محاسبه‌ی احیای کربن

احیای کربن شامل افزودن دی اکسید کربن به آب در حین و یا بعد از سختی زدایی با آهک است که باعث افزایش pH به ۱۰/۴ می شود. بعد از افزودن خاکستر سودا، احیای کربن باعث کم شدن pH آب به ۹/۸ می شود. این امر ترسیب مناسب تر کربنات کلسیم و دی اکسید منیزیم را در پی دارد. روابط زیر برای تعیین دوز مصرف کربن دی اکسید به کار می رود.

$$\text{Excess lime } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = (A + B + C + D) \times 0.15$$

$$\text{Total CO}_2 \text{ dosage } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \left[\text{Ca(OH)}_2 \text{ excess } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times \left(\frac{44}{74}\right)\right] + \left[\text{Mg}^{2+} \text{ residual } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times \left(\frac{44}{24.3}\right)\right]$$

Excess lime: آهک اضافه شده (در رابطه دوم به صورت $\text{Ca(OH)}_2 \text{ excess}$ نشان داده شده است)

Total CO_2 dosage: کل کربن دی اکسید که باید برای احیای کربن اضافه شود

$\text{Mg}^{2+} \text{ residual}$: منیزیم باقی مانده

مثال ۱۰-۱۱. مقادیر A, B, C و D آهک اضافه شده به ترتیب زیر محاسبه شده اند. در صورتی که منیزیم باقی مانده برابر ۵ میلی گرم بر لیتر باشد، میزان کربن دی اکسید لازم برای احیای کربن چه قدر است؟

A=14 mg/L, B=126 mg/L, C=0, D=66 mg/L

$$\text{Excess lime } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = (A + B + C + D) \times 0.15 = (14 + 126 + 0 + 66) \times 0.15 = 31 \text{ mg/L}$$

$$\text{Total CO}_2 \text{ dosage } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \left[31 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times \left(\frac{44}{74}\right)\right] + \left[5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times \left(\frac{44}{24.3}\right)\right] = 18 + 9 = 27 \text{ mg/L}$$







بخش سوم

محاسبه‌های تصفیه خانه‌های فاضلاب



فصل دوازدهم: محاسبه‌های تصفیه‌ی مقدماتی

۱-۱۲. آشغالگیری

آشغالگیر باعث حذف جامدات بزرگ از جریان ورودی مانند سنگ، چوب، ریشه و قوطی می‌شود.

۱-۱-۱۲. محاسبه‌ی میزان حذف آشغالگیر

میزان حذف توسط آشغالگیر به دو صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{Screenings removed} \left(\frac{L}{\text{day}} \right) = \frac{\text{Screenings (L)}}{\text{days}}$$

$$\text{Screenings removed} \left(\frac{L}{m^3} \right) = \frac{\text{Screenings (L)}}{\text{flow (m}^3\text{)}}$$

Screenings removed: میزان حذف آشغالگیر

Screenings: زائده‌های حذف شده

Days: تعداد روزها

Flow: دبی جریان فاضلاب ورودی

مثال ۱-۱۲. مقدار ۲۵۰ لیتر از زائده‌ها توسط آشغالگیر در یک بازه‌ی ۲۴ ساعته، از فاضلاب حذف شده

است. مقدار حذف جامدات توسط آشغالگیر برحسب لیتر بر روز چه میزان است؟

$$\text{Screenings removed} \left(\frac{L}{\text{day}} \right) = \frac{250 (L)}{1 \text{ day}} = 250 L/\text{day}$$

۲-۱-۱۲. محاسبه‌ی ظرفیت چاله‌ی آشغالگیر

مدت زمان پر شدن چاله‌ی آشغالگیر، طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Screening pit fill time (day)} = \frac{\text{volume of pit (L)}}{\text{Screenings removed} \left(\frac{L}{\text{day}} \right)}$$

Screening pit fill time: مدت زمان پر شدن چاله‌ی آشغالگیر

Volume of pit: حجم چاله‌ی آشغالگیر

Screenings removed: میزان حذف آشغالگیر

مثال ۲-۱۲. حجم یک چاله‌ی آشغالگیری ۹ مترمکعب است. در صورتی که تصفیه‌خانه قادر به حذف متوسط

۷۰ لیتر بر روز در قسمت آشغالگیری باشد، در طی چند روز چاله‌ی آشغالگیر پر می‌شود؟

گام اول، تبدیل حجم چاله‌ی آشغالگیر از مترمکعب به لیتر است.

$$9 m^3 \times \frac{1000 L}{1 m^3} = 9000 L$$

گام دوم، تعیین مدت زمان پر شدن چاله‌ی آشفالگیر است.

$$\text{Screening pit fill time (day)} = \frac{9000 (L)}{70 \left(\frac{L}{\text{day}} \right)} = 128 \text{ days}$$

۲-۱۲. دانه گیری

هدف این بخش، حذف جامدات معدنی (ماسه، شن، رس، دانه ها و ...) است.

۱-۲-۱۲. محاسبه‌ی میزان حذف واحد دانه گیری

میزان حذف این واحد توسط رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود.

$$\text{Grit removed (L/m}^3\text{)} = \frac{\text{grit volume (L)}}{\text{flow (m}^3\text{)}}$$

Grit removed: میزان حذف واحد دانه گیری

Grit volume: حجم زائدات

Flow: متوسط جریان

مثال ۳-۱۲. میزان متوسط حذف در واحد دانه گیری ۰.۰۲ لیتر بر متر مکعب است. در صورتی که متوسط دبی ماهانه ۹۵۰۰ متر مکعب بر روز باشد، در طی ۹۰ روز، چه حجمی از زائده‌های دانه گیری باید دفع شوند؟

گام اول، تعیین میزان تولید روزانه‌ی واحد دانه گیری است.

$$0.02 \frac{L}{m^3} \times 9500 \frac{m^3}{\text{day}} = 190 \text{ L/day}$$

گام دوم، تعیین حجم مواد زائد در طی ۹۰ روز است.

$$190 \frac{L}{\text{day}} \times 90 \text{ days} = 17100 \text{ L} \rightarrow 17 \text{ m}^3$$

۲-۲-۱۲. محاسبه‌ی سرعت کانال واحد دانه گیری

سرعت جریان در واحد دانه گیری باید در حدی باشد که جامدات غیرآلی ته‌نشین شوند. در مثال‌های زیر نحوه‌ی تعیین سرعت جریان در کانال به روش‌های مختلف مشخص شده است.

مثال ۴-۱۲. ۳۰ ثانیه زمان می‌برد تا یک جسم معلق ۱۲ متر را در کانال دانه گیری بپیماید. سرعت جریان در کانال چقدر است؟

طبق رابطه زیر سرعت در کانال محاسبه می‌شود.

$$\text{Velocity (m/s)} = \frac{\text{distance traveled (m)}}{\text{time required (s)}}$$



Velocity: سرعت

Distance traveled: مسافت طی شده

Time required: زمان پیمودن مسافت

$$Velocity (m/s) = \frac{12 (m)}{30 (s)} = 0.4 m/s$$

مثال ۵-۱۲. یک تصفیه‌خانه از دو کانال دانه‌گیری استفاده می‌کند. هر یک از این کانال‌ها، یک متر عرض دارند و عمق جریان ۰/۴ متر است. میزان سرعت زمانی که دبی ورودی ۱۵۰۰۰ متر مکعب بر روز است را محاسبه کنید.

$$Velocity (m/s) = \frac{flow \left(\frac{m^3}{day} \right) \times \frac{1 day}{86400 s}}{No. channels in service \times channel width (m) \times water depth (m)}$$

Flow: دبی ورودی

No. channels in service: تعداد کانال‌های در حال فعالیت

Channel width: عرض کانال

Water depth: عمق آب در کانال

$$Velocity (m/s) = \frac{15000 \left(\frac{m^3}{day} \right) \times \frac{1 day}{86400 s}}{2 \times 1 (m) \times 0.4 (m)} = 0.21 m/s$$

مثال ۶-۱۲. دانه‌گیر یک تصفیه‌خانه برای حذف ماسه با سرعت ته‌نشینی ۰/۰۲ متر بر ثانیه طراحی شده است. در حال حاضر عمق بهره‌برداری کانال، ۰/۷ متر است. چه مدت زمان می‌برد تا یک ذره‌ی ماسه به کف کانال برسد و ته‌نشین شود؟

رابطه زیر برای تعیین زمان لازم برای انتقال یک ذره از سطح مایع به کف مخزن در سرعت ته‌نشینی معین است. به منظور محاسبه زمان ته‌نشینی، سرعت ته‌نشینی باید بر حسب متر بر ثانیه در آزمایشگاه مشخص شود.

$$Settling time (s) = \frac{liquid depth (m)}{settling velocity \left(\frac{m}{s} \right)}$$

Settling time: زمان ته‌نشینی

Liquid depth: عمق آب

Settling velocity: سرعت ته‌نشینی

مثال ۷-۱۲. دانه‌گیر یک تصفیه‌خانه برای حذف ماسه با سرعت ته‌نشینی ۰/۰۲ متر بر ثانیه طراحی شده است. در حال حاضر عمق بهره‌برداری کانال، ۰/۹ متر است. سرعت محاسبه شده جریان در کانال ۰/۲۵ متر



بر ثانیه است. طول کانال ۱۲ متر است. آیا طول کانال برای حذف مطلوب شن کافی است؟

در این گونه مسائل، باید طول مورد نیاز کانال به منظور حذف شیبی با سرعت ته‌نشینی معین مشخص شود.

$$\text{Required channel length (m)} = \frac{\text{channel depth (m)} \times \text{flow velocity } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{\text{settling velocity } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}$$

Required channel length: طول مورد نیاز کانال

Channel depth: عمق کانال

Flow velocity: سرعت جریان

Settling velocity: سرعت ته‌نشینی

$$\text{Required channel length (m)} = \frac{0.9 \text{ (m)} \times 0.25 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{0.02 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)} = 11.25 \text{ m}$$

۱۱/۲۵ متر طول کانال نیاز است تا تمام شن‌ها ته‌نشین شوند. بنابراین ۱۲ متر طول فعلی کانال کافی است.









فصل سیزدهم: محاسبه‌های تصفیه‌ی اولیه (ته‌نشینی)

تصفیه‌ی اولیه (ته‌نشینی اولیه) باید مواد آلی قابل ته‌نشینی و جامدات شناور را حذف کند. حذف ضعیف جامدات در این مرحله، بارگذاری بیش از حد مواد آلی در واحد تصفیه‌ی بیولوژیک که بعد از واحد ته‌نشینی اولیه قرار دارد، را به همراه دارد. انتظار می‌رود که واحد ته‌نشینی اولیه ۹۰ تا ۹۵ درصد جامدات قابل ته‌نشینی، ۴۰ تا ۶۰ درصد کل جامدات معلق و ۲۵ الی ۳۵ درصد BOD را حذف کند.

۱-۱۳. محاسبه‌های کنترل فرآیند

مانند دیگر واحدهای فرآیندی تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب، محاسبه‌های کنترل فرآیند، برای ارزیابی عملکرد واحد ته‌نشینی اولیه مفید است. این محاسبه‌ها به منظور تعیین موارد زیر به کار می‌رود.

- میزان حذف
- زمان ماند هیدرولیکی
- نرخ بارگذاری سطحی
- نرخ سرریز خطی
- پمپاژ جامدات بیولوژیک
- درصد کل جامدات (%TS)
- حذف BOD و SS برحسب کیلوگرم بر روز

مقدار قابل قبول زمان ماند هیدرولیکی در واحد ته‌نشینی اولیه ۱/۵ تا ۲/۵ ساعت است. مقدار قابل قبول نرخ بارگذاری/ته‌نشینی نیز ۳۰ الی ۵۰ متر مکعب بر روز به ازای هر متر مربع است. نرخ قابل قبول سرریز خطی در بازه‌ی ۱۲۵ تا ۵۰۰ متر مکعب بر روز به ازای هر متر طول سرریز قرار دارد.

۱-۱۳-۱. نرخ بارگذاری سطحی

نرخ بارگذاری سطحی عبارت است از میزان حجم عبوری فاضلاب از یک متر مربع از حوضچه در طول روز. این عامل طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Surface\ loading\ rate\ \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot day}\right) = \frac{flow\ \left(\frac{m^3}{day}\right)}{surface\ tank\ area\ (m^2)}$$

Surface loading rate: نرخ بارگذاری سطحی

Surface tank area: مساحت سطح حوضچه

Flow: دبی

مثال ۱-۱۳. قطر یک حوضچه‌ی ته‌نشینی اولیه دایره‌ای شکل، ۴۰ متر است. در صورتی که دبی ورودی برابر با ۱۷۰۰۰ متر مکعب بر روز باشد، نرخ بارگذاری سطحی چه میزان است؟ (برحسب $m^3/m^2 \cdot day$)

$$\text{Surface loading rate} \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot \text{day}} \right) = \frac{17000 \left(\frac{m^3}{\text{day}} \right)}{0.785 \times 40 \text{ m} \times 40 \text{ m}} = 13.5 \frac{m^3}{m^2 \cdot \text{day}}$$

مثال ۲-۱۳. یک حوضچه‌ی ته‌نشینی اولیه‌ی مستطیلی شکل، ۲۵ متر طول و ۶ متر عرض دارد. در صورتی که دبی ورودی برابر با ۵۵۰۰ متر مکعب بر روز باشد، نرخ بارگذاری سطحی آن چه میزان است؟ (برحسب $m^3/m^2 \cdot \text{day}$)

$$\text{Surface loading rate} \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot \text{day}} \right) = \frac{5500 \left(\frac{m^3}{\text{day}} \right)}{25 \text{ m} \times 6 \text{ m}} = 36.7 \frac{m^3}{m^2 \cdot \text{day}}$$

۲-۱-۱۳. نرخ سرریز خطی

از سرریز خطی برای اندازه‌گیری دبی فاضلاب استفاده می‌شود. این عامل طبق رابطه‌ی زیر محاسبه و با مقادیر طراحی مقایسه می‌شود.

$$\text{Weir overflow rate} \left(\frac{m^3}{m \cdot \text{day}} \right) = \frac{\text{flow} \left(\frac{m^3}{\text{day}} \right)}{\text{weir length} (m)}$$

Weir overflow rate: نرخ سرریز خطی

Flow: دبی

Weir length: طول سرریز (برابر با محیط پیرامونی حوضچه‌ها)

مثال ۳-۱۳. قطر یک حوضچه‌ی ته‌نشینی اولیه دایره‌ای شکل ۲۵ متر است و در محیط پیرامونی آن سرریز وجود دارد. در صورتی که دبی خروجی برابر با ۱۰۰۰۰ متر مکعب بر روز باشد، نرخ سرریز خطی چه میزان است؟ (برحسب $m^3/m \cdot \text{day}$)

$$\text{Weir overflow rate} \left(\frac{m^3}{m \cdot \text{day}} \right) = \frac{10000 \left(\frac{m^3}{\text{day}} \right)}{3.14 \times 25 (m)} = 127.4 \frac{m^3}{m \cdot \text{day}}$$

۳-۱-۱۳. پمپاژ جامدات بیولوژیک

تعیین پمپاژ جامدات بیولوژیک (مقدار جامدات و جامدات فرار که توسط حوضچه‌ی ته‌نشینی حذف شده‌اند) به ما اطلاعات دقیقی برای کنترل فرآیند واحد ته‌نشینی می‌دهد. این عامل طبق روابط زیر تعیین می‌شوند.

$$\text{Solids pumped} = \text{Pump rate} \left(\frac{L}{\text{min}} \right) \times \text{pump time} \frac{\text{min}}{\text{day}} \times \% \text{ solids}$$

Solids pumped: جامدات پمپاژ شده

Pump rate: نرخ پمپاژ





Pump time: زمان پمپاژ

%Solids: درصد جامدات

$$\text{Volatile solids} \left(\frac{kg}{day} \right) = \text{Pump rate} \left(\frac{L}{min} \right) \times \text{pump time} \left(\frac{min}{day} \right) \times \% \text{ solids} \times \% \text{ volatile matter}$$

Volatile solids: جامدات فرار

Pump rate: نرخ پمپاژ

Pump time: زمان پمپاژ

%Solids: درصد جامدات

%Volatile matter: درصد مواد فرار

مثال ۱۳-۴. یک پمپ به مدت ۳۰ دقیقه در ساعت، جامدات بیولوژیک با نرخ ۱۰۰ لیتر بر دقیقه را پمپاژ می‌کند. آزمون‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که جامدات بیولوژیک شامل ۵/۳ درصد جامدات و ۶۸ درصد مواد فرار است. چند کیلوگرم از مواد فرار از حوضچه‌ی ته‌نشینی به هاضم منتقل شده‌اند؟ بازه زمانی را ۲۴ ساعت در نظر بگیرید.

زمان پمپاژ: ۳۰ دقیقه بر ساعت

نرخ پمپاژ: ۱۰۰ لیتر بر دقیقه

درصد جامدات: ۵/۳ درصد

درصد مواد فرار: ۶۸ درصد

$$\text{Volatile solids} \left(\frac{kg}{day} \right) = 100 \frac{L}{min} \times \left(30 \frac{min}{hr} \times 24 \frac{hr}{day} \right) \times 0.053 \times 0.68 = 2594 \text{ kg/day}$$

۱۳-۴. درصد جامدات کل (%TS)

مثال ۱۳-۵. نمونه‌ای از جامدات بیولوژیک حوضچه‌ی ته‌نشینی به منظور تعیین میزان مواد جامد، آزمایش شده است. وزن نمونه و ظرف آن ۷۳/۷۹ گرم و وزن ظرف خالی ۲۱/۴ گرم است. پس از خشک شدن، وزن ظرف و جامدات خشک شده ۲۲/۴ گرم است. درصد کل جامدات چه میزان است؟

نمونه + ظرف : ۷۳/۷۹ گرم	نمونه خشک + ظرف : ۲۲/۴ گرم
ظرف خالی : ۲۱/۴ گرم	ظرف خالی : ۲۱/۴ گرم
حاصل تفریق : ۵۲/۳۹ گرم	حاصل تفریق : ۱/۰ گرم

$$\frac{1.0 \text{ g}}{52.39 \text{ g}} \times 100\% = 1.9\%$$

۵-۱-۱۳. حذف BOD و SS (kg/day)

به منظور محاسبه ی میزان حذف روزانه ی BOD و SS، لازم است که میزان BOD و SS (برحسب میلی گرم بر لیتر) حذف شده و دبی تصفیه خانه مشخص باشد. سپس از رابطه ی تبدیل میلی گرم بر لیتر به کیلوگرم بر روز می توان استفاده کرد.

$$SS \text{ removed } \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{\frac{mg}{L} \times flow \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000}$$

$$BOD \text{ removed } \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{\frac{mg}{L} \times flow \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000}$$

SS removed: حذف SS

BOD removed: حذف BOD

Flow: دبی

مثال ۶-۱۳. ۱۲۰ میلی گرم بر لیتر جامدات معلق در یک حوضچه ی ته نشینی اولیه حذف می شود. در صورتی که دبی ۲۴۵۰۰ متر مکعب بر روز باشد، چه میزان از SS برحسب کیلوگرم بر روز حذف می شود.

$$SS \text{ removed} = \frac{120 \frac{mg}{L} \times 24500 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000} = 2940 \text{ kg/day}$$

مثال ۷-۱۳. دبی ورودی به یک حوضچه ی ته نشینی ثانویه ۶۰۰۰ متر مکعب بر روز است. در صورتی که BOD ورودی برابر ۲۰۰ و BOD خروجی ۷۰ میلی گرم بر لیتر باشد، روزانه چند کیلوگرم BOD حذف می شود؟

گام اول، تعیین BOD حذف شده است.

$$BOD \text{ removed } \left(\frac{mg}{day} \right) = 200 \frac{mg}{day} - 70 \frac{mg}{day} = 130 \text{ mg/day}$$

گام دوم، تعیین میزان کیلوگرم BOD حذف شده است.

$$BOD \text{ removed } \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{130 \frac{mg}{L} \times 6000 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000} = 780 \text{ kg/day}$$









فصل چهاردهم: محاسبه‌های صافی چکنده

فرآیند صافی چکنده یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تصفیه‌ی بیولوژیکی فاضلاب است. این فرآیند مزیت‌هایی همچون اقتصادی‌تر بودن، مقاومت بیش‌تر در برابر شوک‌های بارگذاری و نیاز کم‌تر به انرژی نسبت به دیگر فرآیندها دارد.

محاسبه‌های متعددی در این فرآیند مفید هستند که شامل: بارگذاری هیدرولیکی، بارگذاری آلی و حذف BOD و SS است. به منظور بهره‌برداری مناسب از صافی، بارگذاری صافی در محدوده‌ی طراحی آن باید باشد. عامل اصلی بارگذاری برای صافی چکنده، بارگذاری هیدرولیکی، بارگذاری آلی و نسبت بازچرخانی هستند.

۱۰-۱۴. نرخ بارگذاری هیدرولیکی

محاسبه‌ی این عامل برای تعیین خروجی اصلی و خروجی بازچرخانی صافی چکنده مهم است. این مقادیر قبل از اضافه شدن به سطح صافی با هم ترکیب می‌شوند. بارگذاری هیدرولیکی براساس مساحت سطح صافی محاسبه می‌شود. متوسط این عامل برای صافی‌های استاندارد و نرخ بالا از قرار زیر است.

- در نرخ استاندارد، بار هیدرولیکی صافی چکنده از ۱ الی ۴ $m^3/m^2 \cdot day$ تعیین می‌شود.
- در نرخ‌های بالا، بار هیدرولیکی صافی چکنده از ۴۰ الی ۴۰۰ $m^3/m^2 \cdot day$ تعیین می‌شود.

توجه شود در صورتی که، مقادیر بار هیدرولیکی خیلی کم باشد، شرایط سپتیک در بستر صافی به وجود می‌آید.

مثال ۱۰-۱۴. یک صافی چکنده به قطر ۲۴ متر با خروجی اصلی ۲۲۰۰ متر مکعب بر روز و خروجی بازچرخانی با دبی ۲۵۰۰ متر مکعب بر روز در حال بهره‌برداری است. بار هیدرولیکی این صافی را محاسبه کنید.

گام اول، تعیین مقدار کل جریان اضافه شده به صافی، با ترکیب جریان اصلی و جریان بازچرخانی است.

$$\text{جریان کل} \left(\frac{m^3}{day} \right) = 2200 \frac{m^3}{day} + 2500 \frac{m^3}{day} = 4700 \frac{m^3}{day}$$

گام دوم، تعیین مقدار بار هیدرولیکی از تقسیم جریان کل بر مساحت صافی است.

$$\frac{4700 (m^3/day)}{0.785 \times 24^2 (m^2)} = 10.4 \frac{m^3}{m^2 \cdot day}$$

۲۰-۱۴. نرخ بارگذاری مواد آلی

نرخ بارگذاری مواد آلی به صورت مقدار مواد آلی اضافه شده به یک حجم مشخص از صافی توصیف می‌شود. به بیان دیگر، تعریفی از میزان غذای اضافه شده به لجن صافی است. به منظور محاسبه آن، دو نکته باید مشخص باشد: نخست، مقدار کیلوگرم BOD یا COD اضافه شده به صافی در یک روز و دوم، حجم بستر صافی. توجه شود BOD و COD موجود در جریان بازچرخانی، در نرخ بارگذاری مواد آلی تأثیری ندارد.

مثال ۲-۱۴. یک صافی چکنده به قطر ۱۸ متر با دبی خروجی اصلی ۱۷۰۰ متر مکعب بر روز در حال بهره‌برداری است. بار آلی این صافی را محاسبه کنید. BOD جریان خروجی اصلی ۸۰ میلی گرم بر لیتر است. عمق بستر ۲/۵ متر است.

گام اول، محاسبه‌ی میزان کل BOD در جریان خروجی اصلی است.

$$BOD \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{1700 \frac{m^3}{day} \times 80 \frac{mg}{L}}{1000} = 136 \text{ kg/day}$$

گام دوم، تعیین بار آلی است.

$$\text{نرخ بارگزاری مواد آلی} \left(\frac{kg}{m^3 \cdot day} \right) = \frac{136 \text{ kg/day}}{0.785 \times 18^2 \times 2.5} = 0.21 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{day}$$

۳-۱۴. میزان حذف BOD و SS

به منظور محاسبه‌ی کیلوگرم BOD و SS حذف شده در هر روز، نیاز به دانستن مقدار حذف شده BOD و SS بر حسب میلی گرم بر لیتر و دبی تصفیه‌خانه است.

مثال ۳-۱۴. جریان فاضلاب ورودی به صافی چکنده با دبی ۱۳۰۰۰ متر مکعب بر روز دارای غلظت BOD ۱۸۴ میلی گرم بر لیتر است. در صورتی که BOD در جریان خروجی صافی چکنده ۶۶ میلی گرم بر لیتر باشد، روزانه چند کیلوگرم BOD حذف می‌شود؟

گام اول، تعیین BOD حذف شده است.

$$BOD \text{ removed} \left(\frac{mg}{L} \right) = 185 \frac{mg}{L} - 66 \frac{mg}{L} = 119 \frac{mg}{L}$$

گام دوم، تعیین BOD حذف شده بر حسب کیلوگرم بر روز است.

$$BOD \text{ removed} \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{13000 \frac{m^3}{day} \times 119 \frac{mg}{L}}{1000} = 1547 \text{ kg/day}$$









فصل پانزدهم: محاسبه‌های صفحات چرخان زیستی (RBC)

محاسبه‌های متعددی در صفحات چرخان زیستی لازم است شامل: BOD قابل انحلال، مساحت کل بستر، نرخ بارگذاری مواد آلی و بارگذاری هیدرولیکی. محاسبه‌های مرتبط با مخزن ته‌نشینی و پمپاژ جامدات بیولوژیکی ممکن است برای ارزیابی و کنترل مخزن ته‌نشینی در پایین دست RBC مفید باشد.

۱-۱۵. نرخ بارگذاری هیدرولیکی

سازندگان، اغلب مساحت سطح بستر را بر حسب متر مربع تعیین می‌کند. نرخ بارگذاری هیدرولیکی به صورت متر مکعب از جریان بر متر مربع در روز بیان می‌شود.

$$\text{Hydraulic loading rate} = \frac{\text{flow (m}^3/\text{day)}}{\text{media area (m}^2\text{)}}$$

Hydraulic loading rate: نرخ بارگذاری هیدرولیکی

Flow: دبی

Media area: مساحت سطح مدیا

مثال ۱-۱۵. یک واحد RBC، فاضلاب با دبی ۱۳۰۰۰ متر مکعب بر روز را تصفیه می‌کند. تولید کننده مساحت سطح بستر را ۷۰۰۰ متر مربع بیان کرده است. نرخ بارگذاری هیدرولیکی را تعیین کنید.

$$\text{Hydraulic loading rate} = \frac{13000 \text{ (m}^3/\text{day)}}{70000 \text{ (m}^2\text{)}} = 0.18 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$$

۲-۱۵. BOD محلول

غلظت BOD محلول در جریان ورودی RBC به صورت تجربی در آزمایشگاه و یا به صورت تخمینی و با استفاده از غلظت جامدات معلق و عامل K - که برای تخمین میزان BOD مواد معلق استفاده می‌شود - می‌تواند تعیین شود. عامل K در فاضلاب‌های خانگی دامنه‌ای بین ۰/۵ تا ۰/۷ دارد. BOD محلول از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{Soluble BOD}_5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \text{Total BOD}_5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - (K \text{ factor} \times \text{total suspended solids} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right))$$

Soluble BOD₅: BOD محلول

Total BOD₅: BOD کل

Total suspended solids: کل جامدات معلق

K Factor: عامل k

مثال ۲-۱۵. غلظت مواد معلق یک نمونه‌ی فاضلاب ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر است. در صورتی که عامل K در این تصفیه‌خانه ۰/۶ باشد، غلظت BOD تخمینی ذرات این تصفیه‌خانه چه قدر است؟

$$250 \frac{mg}{L} \times 0.6 = 150 mg/L$$

این نکته باید مد نظر قرار گیرد زمانی که عامل K برابر با ۰/۶ می‌باشد، به معنای آن است که ۶۰ درصد جامدات معلق، جامدات معلق آلی هستند.

مثال ۳-۱۵. یک دیسک بیولوژیکی چرخان (RBC) دبی ۸۳۰۰ متر مکعب بر روز با غلظت BOD ۱۷۰ میلی گرم بر لیتر و جامدات معلق ۱۴۰ میلی گرم بر لیتر دارد. در صورتی که عامل K برابر ۰/۷ باشد، چند کیلوگرم BOD محلول وارد RBC می‌شود؟

گام اول، تعیین BOD محلول است.

$$(Total\ BOD_5 \frac{mg}{L} = Soluble\ BOD_5 (\frac{mg}{L}) + (K\ factor \times total\ suspended\ solids (\frac{mg}{L}))$$

$$170 \frac{mg}{L} = x (\frac{mg}{L}) + (0.7 \times 140 mg/L)$$

$$Soluble\ BOD_5 = 72 mg/L$$

گام دوم، تعیین BOD kg/day محلول است.

$$Soluble\ BOD (\frac{kg}{day}) = \frac{8300 \frac{m^3}{day} \times 72 \frac{mg}{L}}{1000} = 597.6 kg/day$$

۳-۱۵. نرخ بارگذاری آلی

این عامل طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Organic\ loading\ rate = \frac{soluble\ BOD (\frac{mg}{L}) \times flow (\frac{m^3}{day})}{1000 \times media\ area (m^2)}$$

Organic loading rate: نرخ بارگذاری آلی

Soluble BOD: BOD محلول

Flow: دبی

Media area: مساحت سطح صافی

مثال ۴-۱۵. دبی فاضلاب ورودی به یک واحد RBC ۱۱۵۰۰ متر مکعب بر روز است. BOD مواد محلول فاضلاب ۱۲۰ میلی گرم بر لیتر است. این RBC شامل ۶ شفت و هر شفت به مساحت ۱۰۲۲۰ مترمربع است. در مرحله‌ی اول، فقط دو شفت آن درگیر هستند. نرخ بارگذاری آلی در مرحله‌ی اول بهره‌برداری چه قدر است.



باید دقت شود که در این مثال، فقط باید مجموع مساحت های سطح دو شفت درگیر را در محاسبه مد نظر قرار داد.

$$\text{Organic loading rate} = \frac{\text{solube BOD } \left(\frac{mg}{L}\right) \times \text{flow } \left(\frac{m^3}{day}\right)}{1000 \times \text{media area } (m^2)}$$

$$\text{Organic loading rate} = \frac{120 \left(\frac{mg}{L}\right) \times 11500 \left(\frac{m^3}{day}\right)}{1000 \times (2 \times 10220 (m^2))} = 0.67 \frac{m^3}{m^2 \cdot day}$$







فصل شانزدهم: جامدات بیولوژیکی فعال

فرآیند جامدات بیولوژیکی فعال یک روند انسان‌ساخت است که به شبیه‌سازی فرآیند خودپالایی طبیعت می‌پردازد. در تصفیه‌ی فاضلاب از فرآیندهای جامدات فعال در تصفیه‌ی ثانویه و تصفیه‌ی کاملاً هوازی بدون تنشینی اولیه استفاده می‌شود.

همانند دیگر فرآیندهای تصفیه‌ی فاضلاب، محاسبه‌های کنترل فرآیند، ابزار مهمی است که راهبران را قادر به کنترل و بهینه‌سازی عملیات می‌سازد. در این بخش به بررسی این محاسبه‌ها پرداخته شده است.

۱-۱۶. میانگین انتقال

زمانی که محاسبه‌های کنترل فرآیند انجام می‌شود، استفاده از میانگین انتقال توصیه می‌شود. این میانگین با میانگین گیری از جمع نتایج آزمون در ۷ روز گذشته، طبق رابطه‌ی زیر انجام می‌شود.

$$\text{Moving average} = \frac{\text{Test 1} + \text{Test 2} + \dots + \text{Test 6} + \text{Test 7}}{\text{No. of tests performed over 7 days}}$$

Moving average: میانگین انتقال

Test: شماره‌ی آزمون از ۱ تا ۷

No. of tests performed over 7 days: تعداد آزمون‌های انجام شده در ۷ روز

مثال ۱-۱۶. با توجه به جدول اطلاعات زیر، میانگین انتقال ۷-روزه را برای روزهای ۸، ۹ و ۱۰ محاسبه کنید.

روز	MLSS	روز	MLSS
۱	۳۳۴۰	۶	۲۷۸۰
۲	۲۴۸۰	۷	۲۴۷۶
۳	۲۳۹۸	۸	۲۷۵۶
۴	۲۴۸۰	۹	۲۶۵۵
۵	۲۵۵۸	۱۰	۲۳۹۶

$$\text{Moving average, day 7} = \frac{3340 + 2480 + 2398 + 2480 + 2558 + 2780 + 2476}{7} = 2645$$

$$\text{Moving average, day 8} = \frac{2480 + 2398 + 2480 + 2558 + 2780 + 2476 + 2756}{7} = 2561$$

$$\text{Moving average, day 8} = \frac{2398 + 2480 + 2558 + 2780 + 2476 + 2756 + 2655}{7} = 2586$$

۲-۱۶. بار BOD و COD

زمانی که بار BOD، COD و SS بر روی یک فرآیند هوازی (یا هر فرآیند تصفیه‌ی دیگر) محاسبه می‌شود، بار





برحسب کیلوگرم بر روز نشان داده می شود. و از رابطه ی زیر محاسبه می شود.

$$BOD, COD, \text{ or } SS \text{ loading } \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{mg/L \times flow \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000}$$

BOD, COD, or SS loading: بار BOD, COD یا SS

mg/L: غلظت برحسب میلی گرم بر لیتر

Flow: دبی

مثال ۲-۱۶. دبی ورودی به یک حوضچه ی هوادهی ۱۰ متر مکعب بر دقیقه است. در صورتی که غلظت BOD فاضلاب ۱۴۰ میلی گرم بر لیتر باشد، چند کیلوگرم BOD در روز به حوض هوادهی وارد می شود؟

گام اول، تبدیل واحد دبی از m^3/min به m^3/day است.

$$10 \frac{m^3}{min} \times \frac{1440 \text{ min}}{1 \text{ day}} = 14400 \frac{m^3}{day}$$

گام دوم، تعیین غلظت BOD است.

$$BOD \text{ loading } \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{140 \times 14400 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000} = 2016 \text{ kg/day}$$

۳-۱۶. مقدار جامدات

در فرآیند لجن فعال، کنترل میزان لجن در حال هوادهی مهم است. به جامدات معلق در درون حوض هوادهی MLSS گفته می شود. به منظور محاسبه مقدار کیلوگرم مواد جامد در حوض هوادهی (MLSS)، لازم است که غلظت MLSS برحسب میلی گرم بر لیتر و حجم حوض هوادهی مشخص باشد. سپس با استفاده از رابطه ی زیر کیلوگرم MLSS را می توان تعیین کرد.

$$MLSS (kg) = \frac{MLSS \left(\frac{mg}{L} \right) \times volume (m^3)}{1000}$$

Volume: حجم مخزن هوادهی

مثال ۳-۱۶. در صورتی که غلظت MLSS در حوض هوادهی ۱۲۰۰ میلی گرم بر لیتر، و حجم حوضچه ی هوادهی ۲۱۰۰ متر مکعب باشد، چند کیلوگرم جامدات معلق در تانک هوادهی وجود دارد؟

$$MLSS (kg) = \frac{1200 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 2100 (m^3)}{1000} = 2520 \text{ kg}$$

۴-۱۶. نسبت غذا (F) به میکروارگانیسم ها (M) (نسبت F/M)

از این نسبت برای کنترل فرآیند استفاده می شود و اساس آن ایجاد تعادل میان مواد غذایی موجود (BOD یا COD) در جریان ورودی حوض هوادهی و غلظت MLVSS آن است. برای محاسبه این نسبت، اغلب از نتایج

آزمون COD استفاده می‌شود زیرا نتایج آن در زمان کم‌تری آماده می‌شود. به منظور محاسبه‌ی نسبت F/M اطلاعات زیر باید موجود باشد.

- دبی ورودی به حوض هوادهی (m^3/day)
- غلظت BOD یا COD در جریان ورودی به حوض (mg/L)
- MLVSS حوض هوادهی (mg/L)
- حجم حوض هوادهی (m^3)

$$F/M \text{ ratio} = \frac{\text{primary effluent COD/BOD} \left(\frac{mg}{L} \right) \times \text{flow} (m^3/day)}{MLVSS \left(\frac{mg}{L} \right) \times \text{aerator volume} (m^3)}$$

F/M ratio: نسبت غذا به میکروارگانیسم‌ها

Primary effluent COD/BOD: COD یا BOD جریان ورودی

Flow: دبی

Aerator volume: حجم هواده

در جدول ۱-۱۶ مقادیر مختلف F/M در فرآیندهای گوناگون لجن فعال آورده شده است.

جدول ۱-۱۶: مقادیر مختلف F/M در فرآیندهای گوناگون لجن فعال

COD (kg)/MLVSS (kg)	BOD (kg)/MLVSS (kg)	فرآیند
۱/۰-۰/۵	۰/۴-۰/۲	متعارف
۱/۰-۰/۵	۰/۶-۰/۲	تثبیت تماسی
۰/۵-۰/۲	۰/۱۵-۰/۰۵	هوادهی گسترده
۲/۰-۰/۵	۱/۰-۰/۲۵	اکسیژن خالص

مثال ۴-۱۶. میزان BOD جریان ورودی به مخزن هوادهی ۱۴۵ میلی گرم بر لیتر است. در صورتی که دبی جریان ورودی ۶۰۰۰ متر مکعب بر روز، غلظت MLVSS ۲۳۰۰ میلی گرم بر لیتر و حجم مخزن ۶۸۰۰ متر مکعب باشد، F/M را محاسبه کنید.

$$\frac{F}{M} = \frac{145 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 6000 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{2300 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 6800 (m^3)} = 0.055$$

نکته‌ی نخست: در صورتی که غلظت MLVSS در دسترس نباشد، در صورت وجود درصد مواد فرار (%VM) موجود در MLSS، مقدار آن را طبق رابطه‌ی زیر می‌توان تعیین کرد.

$$MLVSS = MLSS \times \%VM$$



VM: درصد مواد فرار

نکته‌ی دوم: در محاسبه‌ی F/M از BOD و COD به عنوان غذا می‌توان استفاده کرد. یکی از مزیت‌های استفاده از COD به جای BOD در این محاسبه دقیق‌تر بودن COD است.

۵-۱۶. مقدار MLVSS مورد نیاز (kg)

مقدار کیلوگرم مورد نیاز MLVSS در حوض هواده‌ی، به منظور نیل به نسبت F/M بهینه، از رابطه‌ی زیر محاسبه‌می‌شود.

$$MLVSS (kg) = \frac{\text{primary effluent COD/BOD} \left(\frac{mg}{L} \right) \times \text{flow} (m^3/day)}{\text{desired F/M ratio} \times 1000}$$

Desired F/M ratio: نسبت مطلوب غذا به میکروارگانیسم

Primary effluent COD/BOD: COD یا BOD جریان ورودی

Flow: دبی

همچنین با استفاده از رابطه‌ی زیر، کیلوگرم MLVSS به دست آمده را به غلظت (برحسب میلی گرم بر لیتر) می‌توان تبدیل کرد.

$$MLVSS (mg/L) = \frac{\text{desired MLVSS} (kg) \times 1000}{\text{aeration volume} (m^3)}$$

Desired MLVSS: MLVSS برحسب کیلوگرم

Aeration volume: حجم هواده‌ی

مثال ۵-۱۶. دبی ورودی به یک حوض هواده‌ی ۱۵۰۰ متر مکعب برروز و COD آن ۱۴۵ میلی گرم بر لیتر است. حجم مخزن هواده‌ی ۲۴۶۰ متر مکعب است. نسبت مناسب F/M برابر با ۰/۳ (kg)/MLVSS (kg) COD است. چه مقدار MLVSS در حوض هواده‌ی باید نگهداری شود تا این نسبت (F/M) برقرار باشد؟ غلظت MLVSS مورد نیاز را محاسبه کنید.

گام اول، تعیین میزان MLVSS برحسب کیلوگرم است.

$$MLVSS (kg) = \frac{145 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 15000 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{0.3 \text{ COD} (kg)/MLVSS (kg) \times 1000} = 7,250 \text{ kg MLVSS}$$

گام دوم، تعیین غلظت MLVSS است.

$$MLVSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{7250 (kg) \times 1000}{2460 (m^3)} = 2947 \text{ mg/L}$$



۶-۱۶. محاسبه‌های میزان دفع لجن با استفاده از نسبت F/M

پایستگی نسبت مطلوب F/M با کنترل میزان MLVSS در مخزن هوادهی انجام می‌شود. این کار را با تنظیم جریان برگشتی می‌توان انجام داد. در عین حال روش عملی این کار، کنترل مناسب نرخ دفع لجن طبق رابطه‌ی زیر است.

$$\text{Waste volatile solids (kg/day)} = \text{actual MLVSS (kg)} - \text{desired MLVSS (kg)}$$

Waste volatile solids: جامدات فرار برای دفع

MLVSS: Actual MLVSS موجود

MLVSS: Desired MLVSS مطلوب

در صورتی که MLVSS مطلوب بیش‌تر از MLVSS موجود باشد، دفع لجن متوقف می‌شود تا مقدار مطلوب لازم تامین شود. ملاحظات عملی، لازم می‌دارد تا مقادیر دفع لجن، برحسب حجم دفع شده در روز یا ساعت تبدیل شود. این کار با تبدیل میزان لجن دفع شده به مترمکعب در روز و یا مترمکعب در ساعت طبق روابط زیر انجام می‌شود.

$$\text{Waste (m}^3/\text{day)} = \frac{\text{waste volatile solids } (\frac{\text{kg}}{\text{day}}) \times 1000}{\text{waste volatile concentration } (\frac{\text{mg}}{\text{L}})}$$

$$\text{Waste (m}^3/\text{hr)} = \frac{\text{waste } (\frac{\text{m}^3}{\text{day}})}{24 (\frac{\text{hr}}{\text{day}})}$$

Waste: لجن دفعی

Waste volatile solids: جامدات دفعی فرار

Waste volatile concentration: غلظت مواد دفعی فرار

نکته‌ی نخست: زمانی که از نسبت F/M برای کنترل فرآیند استفاده می‌شود، مقادیر فرار لجن فعال دفعی باید مشخص شود.

مثال ۶-۱۶. با توجه به اطلاعات زیر، نرخ دفع لجن را بر حسب متر مکعب بر ساعت تعیین کنید، در صورتی که نسبت F/M معادل ۰/۱۷ برحسب (kg)/MLVSS (kg) COD باشد.

COD جریان اصلی: ۱۴۰ میلی گرم بر لیتر

دبی جریان اصلی: ۸۳۰۰ متر مکعب بر روز

MLVSS: ۳۵۴۹ میلی گرم بر لیتر

حجم مخزن هوادهی: ۲۸۴۰ متر مکعب

غلظت لجن دفعی: ۴۴۴۰ میلی گرم بر لیتر (جامدات فرار)



گام اول، تعیین MLVSS موجود است.

$$\text{Actual MLVSS (kg)} = 3549 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 2840 \text{ (m}^3\text{)} = 10,079 \text{ kg}$$

گام دوم، تعیین MLVSS مورد نیاز است.

$$\text{Required MLVSS (kg)} = \frac{140 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 8300 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{0.17 \text{ COD (kg)/MLVSS (kg)} \times 1000} = 6,835 \text{ kg MLVSS}$$

گام سوم، تعیین لجن مازاد برای دفع است.

$$\text{Waste volatile solids (kg/day)} = 10,079 \text{ (kg)} - 6,835 \text{ (kg)} = 3244 \text{ kg/day}$$

گام چهارم، تعیین میزان لجن دفعی برحسب متر مکعب بر روز است.

$$\text{Waste} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) = \frac{3244 \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) \times 1000}{4440 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)} = 730 \text{ m}^3/\text{day}$$

گام پنجم، تعیین میزان لجن دفعی برحسب متر مکعب بر ساعت است.

$$\text{Waste} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right) = \frac{730 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{24 \left(\frac{\text{hr}}{\text{day}} \right)} = 30.4 \text{ m}^3/\text{hr}$$

۷-۱۶. زمان ماند لجن (SRT^۵)

این عامل نشان‌دهنده‌ی میانگین زمانی است که یک ذره‌ی لجن فعال در فرآیند باقی می‌ماند. همچنین آن را به صورت مدت زمانی که باید سپری شود تا جریان تمامی جامدات را از فرآیند خارج کند، می‌توان تعریف کرد. طبق رابطه‌ی زیر این عامل محاسبه می‌شود.

$$\text{SRT (day)} = \frac{\text{MLSS} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times (\text{aeration volume} + \text{clarifier volume}) \text{ (m}^3\text{)}}{\left[\text{waste} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{waste flow} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) \right] + \left[\text{TSS out} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{flow out} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) \right]}$$

SRT: زمان ماند لجن

Aeration volume: حجم هواده

Clarifier volume: حجم زلال‌ساز

Waste: غلظت لجن دفع شده

Waste flow: دبی دفع لجن

TSS out: جریان خروجی



Flow out: دبی جریان

مثال ۷-۱۶. با توجه به اطلاعات داده شده، SRT را تعیین کنید.

حجم هواده: ۳۷۸۵ متر مکعب

حجم زلال ساز: ۲۲۷۰ متر مکعب

دبی جریان: ۱۹۰۰۰ متر مکعب بر روز

دبی دفع لجن: ۳۲۰ متر مکعب

MLSS: ۲۵۰۰ میلی گرم بر لیتر

غلظت لجن دفع شده: ۶۴۰۰ میلی گرم بر لیتر

TSS جریان خروجی: ۱۴ میلی گرم بر لیتر

$$SRT \text{ (day)} = \frac{2500 \left(\frac{mg}{L}\right) \times (3785 + 2270) (m^3)}{\left[6400 \left(\frac{mg}{L}\right) \times 320 \left(\frac{m^3}{day}\right)\right] + [14 \left(\frac{mg}{L}\right) \times 19000 \left(\frac{m^3}{day}\right)]} = 6.5 \text{ days}$$

۸-۱۶. تعیین مقدار دفع لجن

تعیین SRT برای کنترل فرآیند، نیازمند تعیین مقادیر بهینه‌ی SRT است. این کار با مقایسه‌ی مقادیر کیفی جریان خروجی با مقادیر SRT انجام می‌شود. زمانی که SRT بهینه ایجاد شود، مقادیر جامدات دفعی از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$Waste \text{ (kg/day)} = \frac{\frac{MLSS \left(\frac{mg}{L}\right) \times [aeration \text{ volume} + clarifier \text{ volume}] (m^3)}{desired \text{ SRT}} - (TSS_{out} \left(\frac{mg}{L}\right) \times flow \text{ (m}^3/\text{day)})}{1000}$$

مثال ۸-۱۶. با توجه به اطلاعات داده شده، مقدار دفع لجن را تعیین کنید.

حجم هواده: ۵۳۰۰ متر مکعب

حجم زلال ساز: ۱۹۰۰۰ میلی گرم بر لیتر

دبی جریان: ۱۹۰۰۰ متر مکعب بر روز

MLSS: ۳۴۰۰ میلی گرم بر لیتر

TSS جریان خروجی: ۱۰ میلی گرم بر لیتر

SRT مطلوب: ۸/۶ روز

$$Waste \text{ (kg/day)} = \frac{\frac{3400 \times [5300 + 1900] (m^3)}{8.6} - [10 \left(\frac{mg}{L}\right) \times 19000 (m^3)]}{1000} = 2656 \text{ kg/day}$$

۹-۱۶. تعیین دبی دفع لجن

در صورتی که مقدار لجنی که باید از فرآیند دفع شود، مشخص باشد، دبی دفع لجن را بر حسب متر مکعب بر روز می‌توان محاسبه کرد. توجه شود که واحد دبی دفع لجن تابعی از حجم لجن و طراحی تجهیزات است.





$$Waste (m^3/day) = \frac{waste \text{ kg/day} \times 1000}{waste \text{ concentration } (\frac{mg}{L})}$$

Waste: دبی دفع لجن

Waste kg/day: مقدار کیلوگرم لجن تولیدی در روز

Waste concentration: غلظت لجن

مثال ۹-۱۶. با توجه به اطلاعات زیر، دبی دفع لجن را به منظور برقراری SRT برابر ۸/۸ روز محاسبه کنید

حجم هواده: ۴۵۰۰ متر مکعب

حجم زلال ساز: ۷۶۰ متر مکعب

دبی جریان: ۱۹۰۰۰ متر مکعب بر روز

MLSS: ۲۵۰۰ میلی گرم بر لیتر

TSS جریان خروجی: ۱۱ میلی گرم بر لیتر

SRT مطلوب: ۸/۸ روز

غلظت لجن: ۶۰۰۰ میلی گرم بر لیتر

گام اول، تعیین مقدار دفع لجن است.

$$Waste (kg/day) = \frac{2500 (\frac{mg}{L}) \times [4500 + 760] (m^3)}{8.8} - \frac{(11 (\frac{mg}{L}) \times 19000 (m^3/day))}{1000} = 1285 kg/day$$

گام دوم، تعیین دبی دفع لجن است.

$$Waste \left(\frac{m^3}{day} \right) = \frac{1285 \times 1000}{6000 (\frac{mg}{L})} = 214 m^3/day$$

۱۰-۱۶. تخمین نرخ بازگشت با استفاده از درصد لجن ته نشین شده در مدت ۶۰ دقیقه (%SSV₆₀)

روش های زیادی برای تخمین نرخ مناسب برگشت لجن وجود دارد. یکی از این روش ها از درصد لجن ته نشین شده در مدت ۶۰ دقیقه استفاده می کند (%SSV₆₀). در این روش، فرض بر این است که نتایج SSV₆₀ نشان دهنده ی روند ته نشینی در زلال ساز است. در صورتی که این پیش فرض صحیح باشد، نرخ برگشت جریان (به درصد) باید به تقریب برابر SSV₆₀ باشد. به منظور تعیین نرخ بازگشت تخمینی بر حسب متر مکعب بر روز، دبی جریان ورودی، دبی برگشت لجن فعلی و SSV₆₀ باید مشخص باشد. سپس از نتایج این محاسبه، و همچنین براساس نمونه برداری و مشاهدات عملی، به منظور دستیابی به نرخ بهینه برگشت لجن می توان استفاده کرد.

$$Estimated \text{ return rate } (m^3/day) = \left[\text{influent flow } \left(\frac{m^3}{day} \right) + \text{current return flow } \left(\frac{m^3}{day} \right) \right] \times \%SSV_{60}$$

Estimated return rate: دبی تخمینی لجن برگشتی

Influent flow: دبی ورودی

Current return flow: دبی فعلی لجن برگشتی

SSV₆₀%: درصد ته‌نشینی لجن در ۶۰ دقیقه

مثال ۱۶-۱۰. دبی ورودی ۱۹۰۰۰ متر مکعب بر روز، دبی فعلی برگشت لجن ۶۸۰۰ متر مکعب بر روز و SSV₆₀%، ۳۷ درصد است. با توجه به این موارد، دبی برگشت لجن چه مقدار باید باشد؟

$$\text{Estimated return rate} \left(\frac{m^3}{day} \right) = \left[19000 \left(\frac{m^3}{day} \right) + 6800 \left(\frac{m^3}{day} \right) \right] \times 0.37 = 9546 \text{ } m^3/day$$

۱۱-۱۶. شاخص حجمی لجن (SVI)^۶

این شاخص نشان‌دهنده‌ی کیفیت ته‌نشینی جامدات بیولوژیک است. با افزایش SVI، لجن با سرعت کم‌تری ته‌نشین می‌شود و فشردگی مناسب آن صورت نمی‌گیرد و در نتیجه غلظت جامدات معلق در جریان خروجی افزایش می‌یابد. SVI حجم اشغال شده توسط یک گرم از جامدات بیولوژیک، برحسب میلی لیتر است.

$$SVI = \frac{SSV \left(\frac{mL}{L} \right) \times 1000}{MLSS \left(\frac{mg}{L} \right)}$$

SVI: شاخص حجمی لجن

SSV: درصد ته‌نشین شده لجن

مثال ۱۶-۱۱. مقدار SSV₃₀، پس از ۳۰ دقیقه ته‌نشینی، برابر ۳۶۵ میلی لیتر بر لیتر و مقدار MLSS ۲۳۶۵ میلی لیتر بر لیتر است. SVI را محاسبه کنید.

$$SVI = \frac{365 \left(\frac{mL}{L} \right) \times 1000}{2365 \left(\frac{mg}{L} \right)} = 154.3$$

نکته ی نخست: با استفاده از جدول زیر، می‌توان این‌طور استنباط کرد که در این مثال، فرآیند به صورت نرمال با ته‌نشینی مناسب و کدورت پایین جریان خروجی بهره‌برداری می‌شود.

شرایط قابل پیش‌بینی	SVI
لجن با سن بالا- احتمال تشکیل فلوک، افزایش کدورت خروجی	کمتر از ۱۰۰
بهره‌برداری نرمال- ته‌نشینی مناسب، کدورت خروجی پایین	۱۰۰-۲۵۰
بالکینگ لجن- ته‌نشینی ضعیف، کدورت خروجی زیاد	بیشتر از ۲۵۰



۱۲-۱۶. تعادل جرم، جامدات معلق حوضچه‌ی ته‌نشینی

نتایج تحقیقات نشان داده است که مقدار جامدات تولید شده در مقابل BOD حذف شده، با توجه به نوع فرآیند قابل پیش‌بینی است. هرچند که مقدار دقیق جامدات تولید شده در هر تصفیه‌خانه با تصفیه‌خانه‌های دیگر متفاوت است. پژوهش‌ها، با توسعه‌ی عامل K این امکان را فراهم آورده‌اند که بتوان میزان تولید جامدات را برآورد کرد. عامل K یک روش ساده به منظور ارزیابی موثر بودن برنامه‌ی کنترل فرآیند تاسیسات است. تعادل جرم یک مکانیسم مناسب برای ارزیابی و صحت‌سنجی کنترل فرآیند و اطلاعات پایش جریان خروجی ارائه می‌دهد. خاطر نشان می‌شود که در جدول ۴-۱، عامل K برای هر فرآیند مشخص شده است.

محاسبه‌ی تعادل جرمی به ترتیب مراحل زیر صورت می‌گیرد:

گام اول، تعیین BOD جریان ورودی

$$BOD_{in}(kg) = \frac{BOD \left(\frac{mg}{L} \right) \times influent flow (m^3/day)}{1000}$$

BOD_{in} (kg): مقدار BOD در جریان ورودی برحسب کیلوگرم

BOD: غلظت BOD در جریان ورودی برحسب میلی گرم بر لیتر

Influent flow: دبی جریان ورودی

گام دوم، تعیین BOD جریان خروجی

$$BOD_{out}(kg) = \frac{BOD \left(\frac{mg}{L} \right) \times effluent flow (m^3/day)}{1000}$$

BOD_{out} (kg): مقدار BOD در جریان خروجی برحسب کیلوگرم

BOD: غلظت BOD در جریان خروجی برحسب میلی گرم بر لیتر

Effluent flow: دبی جریان خروجی

گام سوم، محاسبه مقدار جامدات تولید شده

$$Solids produced \left(\frac{kg}{day} \right) = [BOD_{in}(kg) - BOD_{out}(kg)] \times K$$

Solids produced: مقدار مواد جامد تولید شده برحسب کیلوگرم

BOD_{in} (kg): مقدار BOD در جریان ورودی برحسب کیلوگرم

BOD_{out} (kg): مقدار BOD در جریان خروجی برحسب کیلوگرم

K: عامل K (با توجه به جدول ۴-۱)

گام چهارم، محاسبه TSS جریان خروجی

$$TSS_{out}(kg/day) = \frac{TSS_{out} \left(\frac{mg}{L} \right) \times effluent\ flow\ (m^3/day)}{1000}$$

TSS_{out} (kg): مقدار TSS در جریان خروجی بر حسب کیلوگرم

TSS: غلظت TSS در جریان خروجی بر حسب میلی گرم بر لیتر

Effluent flow: دبی جریان خروجی

گام پنجم، محاسبه ی لجن تولیدی

$$waste \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{waste \left(\frac{mg}{L} \right) \times flow\ (m^3/day)}{1000}$$

Waste (kg/L): مقدار لجن تولیدی بر حسب کیلوگرم

Waste (mg/L): غلظت لجن تولیدی بر حسب میلی گرم بر لیتر

Flow: دبی

گام ششم، محاسبه ی جامدات دفع شده

$$Solids\ removed \left(\frac{kg}{day} \right) = TSS_{out} \left(\frac{kg}{day} \right) + waste \left(\frac{kg}{day} \right)$$

Solids removed: مقدار مواد جامد دفع شده بر حسب کیلوگرم

TSS_{out}: مقدار TSS در جریان خروجی بر حسب کیلوگرم

Waste: مقدار لجن تولیدی بر حسب کیلوگرم

گام هفتم، تعیین درصد تعادل جرمی

$$\% \text{ Mass balance} = \frac{(solids\ produced - solids\ removed) \times 100}{solids\ produced}$$

%Mass balance: درصد تعادل جرمی

Solids produced: مقدار مواد جامد تولید شده بر حسب کیلوگرم

Solids removed: مقدار مواد جامد دفع شده بر حسب کیلوگرم

مثال ۱۶-۱۲. با توجه به اطلاعات زیر، برای فرآیند بیولوژیکی هوادهی گسترده، درصد تعادل جرمی را تعیین

کنید و همچنین دبی دفع لجن را برای حفظ شرایط فعلی بهره برداری مشخص کنید.





هوادهی گسترده (بدون مقدماتی)		نوع فرآیند
m ³ /day ۴۲۰۰	دبی	جریان ورودی
mg/L ۲۲۰	BOD	
mg/L ۲۴۰	TSS	
m ³ /day ۵۷۰۰	دبی	جریان خروجی
mg/L ۱۸	BOD	
mg/L ۲۲	TSS	
m ³ /day ۹۰	دبی	لجن دفعی
mg/L ۸۷۱۰	TSS	

گام اول، تعیین BOD جریان ورودی

$$BOD_{in}(kg) = \frac{220 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 4200 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000} = 924 \text{ kg}$$

گام دوم، تعیین BOD جریان خروجی

$$BOD_{out}(kg) = \frac{18 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 5700 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000} = 102.6 \text{ kg}$$

گام سوم، محاسبه‌ی مقدار جامدات تولید شده. (با توجه به جدول ۴-۱، مقدار عامل K برابر ۰/۶۵ است).

$$Solids \text{ produced } \left(\frac{kg}{day} \right) = [924 (kg) - 102.6 (kg)] \times 0.65 = 534 \text{ kg/day}$$

گام چهارم، محاسبه‌ی TSS جریان خروجی

$$TSS_{out} \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{22 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 5700 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000} = 125.4 \text{ kg/day}$$

گام پنجم، محاسبه‌ی لجن تولیدی

$$waste \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{8710 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 90 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000} = 784 \text{ kg/day}$$

گام ششم، محاسبه‌ی جامدات دفع شده

$$Solids \text{ removed } \left(\frac{kg}{day} \right) = 12.4 \left(\frac{kg}{day} \right) + 784 \left(\frac{kg}{day} \right)$$

گام هفتم، تعیین درصد تعادل جرمی

$$\% \text{ Mass balance} = \frac{\left(534 \frac{\text{kg}}{\text{day}} - 784 \frac{\text{kg}}{\text{day}}\right) \times 100}{534 \frac{\text{kg}}{\text{day}}} = -46\%$$

در این مثال، درصد تعادل نشان می‌دهد که فرآیند در حال دفع جامدات بیش‌تری به نسبت تولید آن است.









فصل هفدهم: محاسبه‌های برکه‌های تثبیت

محاسبه‌های کنترل فرآیند برکه‌های تثبیت کم است. با این حال، از روابط متعددی برای ارزیابی عملکرد و یا شناسایی عملکرد آن‌ها استفاده می‌شود. این محاسبه‌ها شامل زمان ماند هیدرولیکی، بار BOD، نرخ بارگذاری آلی، کارآمدی زدایش BOD، جمعیت و نرخ بارگذاری هیدرولیکی است. در ادامه به تعدادی از این روابط اشاره می‌شود.

۱-۱۷. زمان ماند هیدرولیکی

$$\text{Hydraulic detention time} = \frac{\text{pond volume (m}^3\text{)}}{\text{influent flow (}\frac{\text{m}^3}{\text{day}}\text{)}}$$

Hydraulic detention time: زمان ماند هیدرولیکی

Pond volume: حجم برکه

Influent flow: دبی ورودی به برکه

مثال ۱-۱۷. یک برکه‌ی تثبیت دارای حجم ۶۷۰۰۰ متر مکعب است. در صورتی که دبی ورودی به آن ۱۳۰۰ متر مکعب بر روز باشد، زمان ماند فاضلاب را در آن محاسبه کنید.

$$\text{Hydraulic detention time} = \frac{67000 (\text{m}^3)}{1300 (\frac{\text{m}^3}{\text{day}})} = 51 \text{ days}$$

۲-۱۷. بار BOD

$$\text{BOD loading } \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) = \frac{\text{BOD } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{flow } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{1000}$$

BOD loading: بارگذاری BOD برحسب کیلوگرم بر روز

BOD: غلظت BOD برحسب میلی گرم بر لیتر

Flow: دبی

مثال ۲-۱۷. در صورتی که دبی فاضلاب ورودی به یک برکه ۱۱۴۰ متر مکعب بر روز با غلظت BOD ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر باشد، بارگذاری BOD را برحسب کیلوگرم بر روز محاسبه کنید.

$$\text{BOD loading } \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) = \frac{200 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 1140 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{1000} = 228 \text{ kg/day}$$

۳-۱۷. نرخ بارگذاری آلی

این عامل را به صورت کیلوگرم BOD بر مساحت برکه به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\text{Organic loading} \left(\frac{\text{kg BOD}}{\text{m}^2 \cdot \text{day}} \right) = \frac{\text{BOD} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{flow} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{1000 \times \text{pond area} (\text{m}^2)}$$

Organic loading: بارگذاری آلی برحسب $\text{kg BOD/m}^2 \cdot \text{day}$

BOD: غلظت BOD برحسب میلی گرم بر لیتر

Flow: دبی

Pond area: مساحت برکه بر حسب متر مربع

مثال ۳-۱۷. طول و عرض متوسط یک برکه‌ی تثبیت به ترتیب برابر ۲۲۰ و ۱۱۲ متر است. دبی ورودی به این برکه ۳۸۰ متر مکعب بر روز با غلظت ۱۶۵ میلی گرم بر لیتر است. نرخ بارگذاری آلی را محاسبه کنید.

$$\text{Organic loading} \left(\frac{\text{kg BOD}}{\text{m}^2 \cdot \text{day}} \right) = \frac{165 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 380 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{1000 \times 220 \text{ m} \times 112 \text{ m}} = 0.0025 \frac{\text{kg BOD}}{\text{m}^2 \cdot \text{day}}$$

۴-۱۷. کارآمدی حذف BOD

$$\% \text{ BOD removed} = \frac{\text{BOD removed} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{\text{BOD total} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)} \times 100$$

BOD removed %: درصد حذف BOD

BOD removed: BOD حذف شده

BOD total: BOD کل

مثال ۴-۱۷. غلظت BOD ورودی به برکه‌ی تثبیت ۱۹۴ میلی گرم بر لیتر و غلظت BOD جریان خروجی از آن ۴۵ میلی گرم بر لیتر است. کارآمدی حذف BOD چند درصد است؟

$$\% \text{ BOD removed} = \frac{194 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) - 45 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{194 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)} \times 100 = 77\%$$









فصل هجدهم: محاسبه‌های مصرف مواد شیمیایی

به صورت کلی، محاسبه‌ی میزان مصرف مواد شیمیایی به دو صورت زیر صورت می‌گیرد.

$$\text{Chemical} \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{\text{Chemical} \left(\frac{mg}{L} \right) \times \text{flow} \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000}$$

$$\text{Chemical} (kg) = \frac{\text{Chemical} \left(\frac{mg}{L} \right) \times \text{volume} (m^3)}{1000}$$

Chemical: غلظت ماده‌ی شیمیایی بر حسب میلی گرم بر لیتر

Flow: دبی

Volume: حجم

مثال ۱۸-۱. در صورتی که دبی جریان ۱۹۰۰۰ متر مکعب بر روز و دوز مصرف مواد شیمیایی ۳ میلی گرم بر لیتر باشد، تنظیم دستگاه تزریق را تعیین کنید.

$$\text{Chemical} \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{3 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 19000 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000} = 57 \text{ kg/day}$$

مثال ۱۸-۲. یک کیلوگرم آهک به ازای هر کیلوگرم اسیدهای فرار به هاضم لجن افزوده می‌شود. در صورتی که هاضم حاوی ۱۱۳۵ متر مکعب لجن به همراه ۲۲۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید فرار باشد، چند کیلوگرم آهک باید افزوده شود؟

به علت اینکه غلظت اسید فرار ۲۲۰۰ میلی گرم بر لیتر است، غلظت آهک نیز ۲۲۰۰ میلی گرم بر لیتر باید باشد.

$$\text{Chemical} (kg) = \frac{2200 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 1135 (m^3)}{1000} = 2500 \text{ kg}$$

توجه:

تمامی مطالب، روابط و مثال‌های مطرح شده در فصل ۱۰، بخش‌های ۱۰-۲، ۱۰-۴، ۱۰-۵ و فصل ۷ بخش‌های ۷-۳، ۷-۴، ۷-۸، ۷-۹ و ۷-۱۰ در این فصل برای محاسبه‌ی افزودن مواد شیمیایی به فاضلاب کاربرد دارند و مجدد تکرار نشده است.





فصل نوزدهم: تولید لجن و محاسبه ی پمپاژ

۱-۱۹. محاسبه ی میزان لجن تولید شده در واحد ته نشینی اولیه

به منظور محاسبه ی لجن تولید شده در حوضچه های ته نشینی اولیه از رابطه ی زیر استفاده می شود.

$$\text{Suspended solids (SS) removed} \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) = \frac{\text{SS removed} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{flow} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{1000}$$

Suspended solids (SS) removed: جامدات معلق حذف شده بر حسب کیلوگرم بر روز

SS removed: جامدات معلق حذف شده بر حسب میلی گرم بر لیتر

Flow: دبی

مثال ۱-۱۹. به یک حوضچه ی ته نشینی اولیه، جریان ورودی ۶۸۰۰ متر مکعب در روز با غلظت جامدات معلق ۳۴۰ میلی گرم بر لیتر وارد می شود. در صورتی که جریان خروجی از حوضچه ی ته نشینی دارای جامدات معلق با غلظت ۱۸۰ میلی گرم بر لیتر باشد. روزانه چند کیلوگرم لجن تولید می شود؟

$$\text{Suspended solids (SS) removed} \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) = \frac{(340 - 180) \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 6800 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{1000} = 1088 \text{ kg/day}$$

۲-۱۹. محاسبه ی میزان لجن تولید شده در واحد ته نشینی ثانویه

میزان لجن تولید شده در حوضچه ی ته نشینی ثانویه به عامل های متعددی هم چون میزان مواد آلی حذف شده در فرایند و نرخ رشد باکتری بستگی دارد. محاسبه ی دقیق لجن تولید شده پیچیده است، اما روش کلی برای برآورد جامدات تولیدی در قالب رابطه زیر وجود دارد.

$$\text{BOD removed} \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) = \frac{\text{BOD removed} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{flow} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{1000}$$

BOD removed: BOD حذف شده بر حسب کیلوگرم بر روز

BOD removed: BOD حذف شده بر حسب میلی گرم بر لیتر

Flow: دبی

مثال ۲-۱۹. به یک حوضچه ی ته نشینی ثانویه جریانی با دبی روزانه ۵۷۰۰ متر مکعب و غلظت BOD ۱۷۴ میلی گرم بر لیتر وارد می شود. BOD جریان خروجی ۲۲ mg/L است. در صورتی که نرخ رشد باکتری در این تصفیه خانه ۰/۴ (kg SS/kg BOD removed) باشد، چند کیلوگرم لجن روزانه در این فرایند تولید می شود؟



گام اول، تعیین میزان BOD حذف شده است.

$$BOD \text{ removed } \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{152 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 5700 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000} = 866.5 \text{ kg/day}$$

گام دوم، با توجه به نسبت ۰/۴، میزان تولید لجن را در این تصفیه خانه می توان محاسبه کرد.

$$\frac{0.4 \text{ kg SS produced}}{1 \text{ kg BOD removed}} = \frac{x \text{ kg SS produced}}{866.5 \frac{kg}{day} \text{ removed}} \rightarrow x = 346.6 \text{ kg/day}$$

۳-۱۹. درصد جامدات

جامدات بیولوژیک ترکیبی از آب و مواد جامد است. مقدار جامدات به صورت درصد بیان شود. از روابط زیر، این درصد را می توان به دست آورد.

$$\% \text{ Solids} = \frac{\text{total solids (g)}}{\text{biosolids sample (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Solids} = \frac{\text{solids (kg/day)}}{\text{biosolids sample (kg/day)}} \times 100$$

%Solids: درصد جامدات

Total solids: میزان جامدات کل

Biosolids sample: نمونه‌ی جامدات بیولوژیک

مثال ۳-۱۹. وزن کل نمونه‌ی جامدات بیولوژیک ۲۲ گرم است. در صورتی که وزن جامدات پس از خشک شدن ۰/۷۷ گرم باشد، درصد جامدات در این نمونه از چه قدر است؟

$$\% \text{ Solids} = \frac{0.77 \text{ (g)}}{22 \text{ (g)}} \times 100 = 3.5\%$$

۴-۱۹. پمپاژ جامدات بیولوژیک

نرخ پمپاژ جامدات بیولوژیک به روش زیر برآورد می شود.

$$\text{Estimated pump rate} = \frac{(\text{influent TSS concentration} - \text{effluent TSS concentration}) \times \text{flow}}{\% \text{ solids in sludge} \times 1440 \text{ min/day}}$$

Estimated pump rate: نرخ پمپاژ تخمینی

Influent TSS concentration: غلظت TSS ورودی

Effluent TSS concentration: غلظت TSS خروجی

Flow: دبی

%solids in sludge: درصد جامدات در لجن



مثال ۴-۱۹. لجن دفعی از واحد تفنیشینی اولیه، حاوی ۱/۴ درصد جامدات است. محتوی TSS در جریان ورودی و خروجی به ترتیب ۲۸۵ و ۱۴۰ میلی گرم بر لیتر است. در صورتی که دبی ورودی ۲۱۰۰۰ متر مکعب بر روز باشد، در صورتی که پمپ به صورت متداوم کار کند، نرخ پمپاژ بر حسب متر مکعب بر دقیقه چه قدر است؟

$$\text{Estimated pump rate} = \frac{(285 - 140) \times 21000}{0.014 \times 1440 \text{ min/day} \times 10^6} = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$$

۵-۱۹. تولید جامدات بیولوژیک بر حسب کیلوگرم به ازای هر متر مکعب

یک روش معمول برای بیان تولید جامدات بیولوژیک، طبق رابطه‌ی زیر است.

$$\text{Biosolids} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3/\text{day}} \right) = \frac{\text{total biosolids production (kg)}}{\text{total wastewater flow (m}^3/\text{day)}} \quad \text{Biosolids}$$

: جامدات بیولوژیک بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب در روز

Total biosolids production: تولید کل جامدات بیولوژیک

Total wastewater flow: دبی کل فاضلاب

مثال ۵-۱۹. مستندات نشان می‌دهد که یک تصفیه‌خانه در ۳۰ روز گذشته ۳۲۰ تن جامدات بیولوژیک تولید کرده است. دبی متوسط در این مدت ۴۶۰۰ متر مکعب بر روز است. میزان تولید لجن در تصفیه‌خانه بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب چه میزان است؟

$$\text{Biosolids} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{320000 \text{ (kg)}}{4600 \text{ (m}^3) \times 30 \text{ days}} = 2.3 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{day}$$

۶-۱۹. تولید جامدات بیولوژیک بر حسب تن در سال

جامدات بیولوژیک (آب و جامدات) را بر حسب میزان تولیدی به صورت زیر می‌توان محاسبه کرد.

$$\text{Biosolids (wet ton/year)} = \frac{\text{biosolids production (kg/m}^3) \times \text{average daily flow} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) \times 365 \text{ days/years}}{1000 \text{ kg/ton}}$$

:Biosolids جامدات بیولوژیک

:Biosolids production تولید جامدات بیولوژیک

:Average daily flow متوسط دبی روزانه

مثال ۶-۱۹. یک تصفیه‌خانه در حال حاضر جامدات بیولوژیک با نرخ ۲ کیلوگرم بر متر مکعب تولید می‌کند. دبی متوسط ۵۷۰۰ متر مکعب بر روز است. مقدار کیلوگرم تولید جامدات بیولوژیک را بر حسب تن در سال محاسبه کنید.





$$\text{Biosolids} \left(\text{wet} \frac{\text{ton}}{\text{year}} \right) = \frac{2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times 5700 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) \times 365 \frac{\text{days}}{\text{years}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 4161 \text{ tons/year}$$

۷-۱۹. زمان پمپاژ جامدات بیولوژیک

زمان پمپاژ جامدات بیولوژیک، زمانی است که پمپ در یک بازه ۲۴ ساعته بر حسب دقیقه بهره‌برداری می‌شود.

$$\text{Pump operation time} = \frac{\text{time}}{\text{cycle}} (\text{min}) \times \text{frequency} \left(\frac{\text{cycles}}{\text{day}} \right)$$

Pump operation time: زمان بهره‌برداری از پمپ

Time/cycle: زمان کارکرد پمپ در هر بار روشن شدن

Frequency: دفعات روشن شدن پمپ در روز

مثال ۷-۱۹. با توجه به اطلاعات زیر، زمان بهره‌برداری پمپ چه قدر است؟

تعداد زمان‌هایی که پمپ کار می‌کند: ۲۴ بار در روز و هر بار ۱۵ دقیقه

نرخ پمپاژ: ۰/۴۵ متر مکعب بر دقیقه

درصد جامدات: ۳/۷ درصد

مواد فرار: ۶۶ درصد

$$\text{Pump operation time} = 15 \frac{\text{min}}{\text{hr}} \times 24 \left(\frac{\text{cycles}}{\text{day}} \right) = 360 \text{ min/day}$$

۸-۱۹. جامدات بیولوژیک پمپاژ شده بر حسب متر مکعب بر روز

$$\text{Biosolids} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) = \text{operating time} (\text{min/day}) \times \text{pump rate} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right)$$

Biosolids: جامدات بیولوژیک

Operating time: زمان بهره‌برداری

Pump rate: نرخ پمپاژ

مثال ۸-۱۹. با توجه اطلاعات مثال ۷-۱۹، مقدار جامدات بیولوژیک پمپاژ شده بر حسب متر مکعب بر روز

چه میزان است؟

$$\text{Biosolids} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) = 360 (\text{min/day}) \times 0.45 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) = 162 \text{ m}^3/\text{day}$$

۹-۱۹. جامدات بیولوژیک پمپاژ شده بر حسب کیلوگرم بر روز (چگالی جامدات بیولوژیک با چگالی

آب برابر است)

$$Sludge \left(\frac{kg}{day} \right) = Biosolids \text{ pumped } \left(\frac{m^3}{day} \right) \times 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Sludge: میزان تولید لجن بر حسب کیلوگرم بر روز
Biosolids pumped: جامدات بیولوژیک پمپاژ شده

مثال ۹-۱۹. طبق اطلاعات مثال ۷-۱۹، روزانه چند کیلوگرم جامدات بیولوژیک پمپاژ می شود؟

$$Sludge \left(\frac{kg}{day} \right) = 162 \left(\frac{m^3}{day} \right) \times 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right) = 162,000 \text{ kg/day}$$

۱۰-۱۹. جامدات پمپاژ شده بر حسب کیلوگرم بر روز

$$Solids \text{ pumped } \left(\frac{kg}{day} \right) = Biosolids \text{ pumped } \left(\frac{kg}{day} \right) \times \% \text{ solids}$$

Solids pumped: مواد جامد پمپاژ شده
Biosolids pumped: جامدات بیولوژیک پمپاژ شده
% Solids: درصد مواد جامد

مثال ۱۰-۱۹. طبق اطلاعات مثال ۷-۱۹، میزان مواد جامد پمپاژ شده بر حسب کیلوگرم بر روز چه قدر است؟

$$Solids \text{ pumped } \left(\frac{kg}{day} \right) = 162,000 \left(\frac{kg}{day} \right) \times 0.0370 = 6000 \text{ kg/day}$$

۱۱-۱۹. مواد فرار پمپاژ شده بر حسب کیلوگرم بر روز

$$Volatile \text{ matter } \left(\frac{kg}{day} \right) = Solids \text{ pumped } \left(\frac{kg}{day} \right) \times \% \text{ volatile matter}$$

Volatile matter: مواد فرار
Solids pumped: مواد جامد پمپاژ شده
% Volatile matter: درصد مواد فرار

مثال ۱۱-۱۹. طبق اطلاعات مثال ۷-۱۹، مقدار مواد فرار بر حسب کیلوگرم بر روز چه قدر است؟

$$Volatile \text{ matter } \left(\frac{kg}{day} \right) = 6000 \left(\frac{kg}{day} \right) \times 0.66 = 3960 \text{ kg/day}$$

۱۲-۱۹. مقدار کیلوگرم جامدات در روز / مقدار کیلوگرم مواد فرار در روز

در صورتی که بخواهیم مقدار کیلوگرم جامدات در روز و یا مقدار کیلوگرم مواد فرار در روز را تعیین کنیم، از روابط زیر استفاده می شود.

$$Solids \left(\frac{kg}{day} \right) = pump \text{ time } \left(\frac{min}{cycle} \right) \times frequency \left(\frac{cycles}{day} \right) \times rate \left(\frac{m^3}{min} \right) \times \% solids \times 1000$$



Solids: جامدات تولید شده بر حسب کیلوگرم بر روز

Pump time: زمان پمپاژ در هر دوره

Frequency: تعداد دفعات روشن شدن پمپ در روز

Rate: نرخ پمپاژ

% Solids: درصد مواد جامد

$$\text{Volatile matter } \left(\frac{kg}{day} \right) = \text{pump time } \left(\frac{min}{cycle} \right) \times \text{frequency } \left(\frac{cycles}{day} \right) \times \text{rate } \left(\frac{m^3}{min} \right) \times \% \text{solids} \times 1000 \times \% VM$$

Volatile matter: مواد فرار

Pump time: زمان پمپاژ در هر دوره

Frequency: تعداد دفعات روشن شدن پمپ در روز

Rate: نرخ پمپاژ

% Solids: درصد مواد جامد

% VM: درصد مواد فرار

مثال ۱۹-۱۲. طبق اطلاعات مثال ۱۹-۷، میزان مواد جامد پمپاژ شده بر حسب کیلوگرم بر روز و مقدار مواد

فرار بر حسب کیلوگرم بر روز چه قدر است؟

$$\text{Solids } \left(\frac{kg}{day} \right) = 15 \left(\frac{min}{cycle} \right) \times 24 \left(\frac{cycles}{day} \right) \times 0.45 \left(\frac{m^3}{min} \right) \times 0.037 \times 1000 = 6000 \text{ kg/day}$$

$$\text{Volatile matter } \left(\frac{kg}{day} \right) = 15 \left(\frac{min}{cycle} \right) \times 24 \left(\frac{cycles}{day} \right) \times 0.45 \left(\frac{m^3}{min} \right) \times 0.037 \times 1000 \times 0.66 = 3960 \text{ kg/day}$$







فصل بیستم: محاسبات‌های تغلیظ لجن

تغلیظ جامدات بیولوژیک، فرآیندی است که در آن محتوای مواد جامد لجن با کاهش مقداری از مایع آن افزایش می‌یابد. به تعبیر دیگر این واحد صرفاً به کاهش حجم می‌پردازد.

محاسبات‌های تغلیظ لجن بر این اساس استوار است که جامدات موجود در بخش‌های ته‌نشینی اولیه و ثانویه برابر با جامدات در بخش تغلیظ هستند. به عبارتی مقدار مواد جامد ثابت است اما حجم آب کاهش و غلظت مواد جامد افزایش می‌یابد. در حالت تغلیظ نشده، غلظت مواد جامد ۱ تا ۴ درصد از جرم کل لجن را تشکیل می‌دهند. پس از فرآیند تغلیظ، این میزان به ۵ تا ۷ درصد می‌رسد.

۱-۲۰. محاسبات‌های واحد تغلیظ ثقلی و واحد تغلیظ شناورسازی با هوا

۱-۲۰-۱. تخمین تولید روزانه‌ی لجن

این محاسبات‌ها در بخش ۱۹-۴، تحت عنوان نرخ پمپاژ آورده شده بود و در اینجا دوباره تکرار می‌شود.

$$\text{Estimated pump rate} = \frac{(\text{influent TSS concentration} - \text{effluent TSS concentration}) \times \text{flow}}{\% \text{ solids in sludge} \times 1440 \text{ min/day}}$$

Estimated pump rate: نرخ پمپاژ تخمینی

Influent TSS concentration: غلظت TSS ورودی

Effluent TSS concentration: غلظت TSS خروجی

Flow: دبی

%solids in sludge: درصد جامدات در لجن

۲-۱-۲۰. بار سطحی ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{day}$)

منظور از این متغیر همان بار هیدرولیکی است. یعنی مقدار لجن در واحد سطح، در واحد تغلیظ لجن ثقلی.

$$\text{Surface loading} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2.\text{day}} \right) = \frac{\text{biolodids applied to the thickener} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{\text{thickener area} (\text{m}^2)}$$

Surface loading: بار سطحی

Biolodids applied to the thickener: لجن اضافه شده به واحد تغلیظ لجن

Thickener area: مساحت سطح واحد تغلیظ لجن

مثال ۱-۲۰. به یک واحد تغلیظ لجن ثقلی به قطر ۲۰ متر، جریان روزانه ۱۲۰ متر مکعب وارد می‌شود. بار

سطحی این واحد چقدر است؟

$$\text{Surface loading} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2.\text{day}} \right) = \frac{120 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)}{0.785 \times 20 (\text{m}) \times 20 (\text{m})} = 0.4 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2.\text{day}}$$



۳-۱-۲۰. نرخ بارگزاری جامدات ($\text{kg/m}^2\cdot\text{day}$)

این متغیر بیانگر مقدار کیلوگرم اضافه شده به یک متر مربع از سطح واحد فرآیندی در یک روز است. در این رابطه فرض شده است که کف تانک مسطح بوده و دارای ابعاد مشابه با سطح آن است.

$$\text{Surface loading rate } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{day}} \right) = \frac{\% \text{ biolids} \times \text{biosolids flow } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) \times 1000}{\text{thickener area } (\text{m}^2)}$$

Surface loading rate: نرخ بارگزاری جامدات

% Biolids: درصد جامدات

Biosolids flow: دبی لجن

Thickener area: مساحت سطح واحد تغلیظ لجن

مثال ۲-۲۰. جریان ورودی به یک واحد تغلیظ لجن حاوی ۱/۶ درصد جامدات است. دبی جریان ورودی ۱۵۰ متر مکعب بر روز است. قطر این واحد ۱۵ متر و ارتفاع آن ۳ متر است. نرخ بارگزاری جامدات را محاسبه کنید.

$$\text{Surface loading rate } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{day}} \right) = \frac{0.016 \times 150 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) \times 1000}{0.785 \times 15 (\text{m}) \times 15 (\text{m})} = 13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{day}}$$

۴-۱-۲۰. ضریب تغلیظ (CF)

این پارامتر بیانگر میزان تاثیرگذاری فرآیند تغلیظ ثقلی است و نشانگر میزان افزایش غلظت مواد جامد در واحد فرآیندی تغلیظ است.

$$\text{Concentration factor (CF)} = \frac{\text{thickened biosolids concentration } (\%)}{\text{influent biosolids concentration } (\%)}$$

Concentration factor: ضریب تغلیظ

Thickened biosolids concentration: غلظت لجن تغلیظ شده

Influent biosolids concentration: غلظت لجن ورودی

مثال ۳-۲۰. جریان ورودی لجن دارای ۳/۵ درصد مواد جامد است. غلظت مواد جامد در لجن پس از تغلیظ آن ۷/۷ درصد است. ضریب تغلیظ را محاسبه کنید.

$$\text{Concentration factor (CF)} = \frac{7.7\%}{3.5\%} = 2.2\%$$



۵-۱-۲۰. درصد جریان بازیافتی

این متغیر مطابق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Recycle \% = \frac{recycle\ flow\ rate\ (\frac{m^3}{hr})}{sludge\ flow\ (m^3/hr)} \times 100$$

Recycle %: درصد جریان بازیافتی

Recycle flow rate: دبی جریان بازیافتی

Sludge flow: دبی لجن

مثال ۴-۲۰. دبی جریان ورودی لجن به واحد تغلیظ ۱۸ متر مکعب بر ساعت است. دبی جریان بازیافتی ۳۲ متر مکعب بر ساعت است. درصد بازیافت چه قدر است؟

$$Recycle \% = \frac{32\ (\frac{m^3}{hr})}{18\ (m^3/hr)} \times 100 = 177\%$$









فصل بیست و یکم: محاسبه‌های هاضم لجن

۱-۲۱. محاسبه‌های کنترل فرآیند هاضم هوازی

هدف از این فرآیند تثبیت مواد آلی به منظور کاهش حجم و انهدام عامل‌های بیماری‌زا است. این فرآیند به تقریب مشابه با فرآیند لجن فعال است. در این روش لجن به مدت ۲۰ روز و یا بیش‌تر، هوادهی می‌شود و طی آن جامدات فعال توسط فعالیت‌های بیولوژیکی تقلیل می‌یابند.

۱-۱-۲۱. بار جامدات فرار (کیلوگرم در روز به ازای هر متر مکعب)

$$\text{Volatile solids loading} \left(\frac{kg}{m^3 \cdot day} \right) = \frac{\text{volatile solids added} \left(\frac{kg}{day} \right)}{\text{digester volume} (m^3)}$$

Volatile solids loading: بار جامدات فرار

Volatile solids added: جامدات فرار اضافه شده

Digester volume: حجم هاضم

مثال ۱-۲۱. قطر یک هاضم هوازی ۶ متر و عمق بهره‌برداری آن ۶ متر است. لجن ورودی به این هاضم، روزانه حاوی ۶۸۰ کیلوگرم مواد جامد است. بارگذاری جامدات فرار در این هاضم را محاسبه کنید.

$$\text{Volatile solids loading} \left(\frac{kg}{m^3 \cdot day} \right) = \frac{680 \left(\frac{kg}{day} \right)}{0.785 \times 6 m \times 6 m} = 24 kg/m^2 \cdot day$$

۲-۱-۲۱. زمان هضم (روز)

مقدار زمانی که لجن در هاضم باقی می‌ماند برابر است با:

$$\text{Digestion time} (day) = \frac{\text{digester volume} (m^3)}{\text{biosolids added} \left(\frac{m^3}{day} \right)}$$

Digestion time: زمان هضم

Digester volume: حجم هاضم

Biosolids added: لجن اضافه شده

مثال ۲-۲۱. حجم هاضمی ۹۰۰ متر مکعب است. لجن با دبی روزانه ۶۰ متر مکعب به آن وارد می‌شود. زمان هضم چند روز است؟

$$\text{Digestion time} (day) = \frac{900 (m^3)}{60 \left(\frac{m^3}{day} \right)} = 15 days$$

۳-۱-۲۱. تنظیم pH

بسیاری از اوقات pH هاضم هوازی به پایین تر از حد لازم برای فعالیت بیولوژیکی تقلیل می یابد. در چنین حالتی، بهره بردار با یک آزمون آزمایشگاهی، میزان قلیائیت لازم برای نیل به pH مناسب را باید تعیین کند. در نهایت نتایج آزمایشگاهی، به مقادیر عملی مورد نیاز در هاضم باید تبدیل شود.

$$\text{Chemical required (kg)} = \frac{\text{chemical used in lab test (mg)} \times \text{digester volume (m}^3\text{)}}{\text{sample volume (L)} \times 1000}$$

Chemical required: مواد شیمیایی مورد نیاز

Chemical used in lab test: مواد شیمیایی مورد نیاز مشخص شده در آزمون آزمایشگاهی

Digester volume: حجم هاضم

Sample volume: حجم نمونه

مثال ۳-۲۱. به منظور افزایش pH یک نمونه یک لیتری از محتویات هاضم هوازی به ۷/۱، ۲۴۰ mg آهک مورد نیاز است. حجم هاضم ۹۰۰ متر مکعب است. چند کیلوگرم آهک به منظور افزایش pH به ۷/۱ مورد نیاز است؟

$$\text{Chemical required (kg)} = \frac{240 \text{ (mg)} \times 900 \text{ (m}^3\text{)}}{1 \text{ (L)} \times 1000} = 218 \text{ kg}$$

۲-۲۱. محاسبه های کنترل فرآیند هاضم بی هوازی

در فرآیند بی هوازی، لجن وارد هاضم بسته می شود و در آن مواد آلی به صورت بی هوازی تجزیه می شود. هضم بی هوازی یک فرآیند دو مرحله ای است. در مرحله نخست، شکر، نشاسته و سایر کربوهیدرات ها به اسیدهای فرار، کربن دی اکسید و هیدروژن سولفید تبدیل می شوند. سپس در مرحله دوم، این موارد به گاز متان تبدیل می شوند.

۱-۲-۲۱. حجم لجن تلقیحی مورد نیاز

$$\text{Seed volume (m}^3\text{)} = \text{digester volume (m}^3\text{)} \times \% \text{seed}$$

Seed volume: حجم لجن تلقیحی

Digester volume: حجم هاضم

Seed %: درصد لجن تلقیحی

مثال ۴-۲۱. یک هاضم جدید نیاز به ۲۵ درصد لجن تلقیحی برای بهره برداری نرمال در زمان معین دارد. در صورتی که حجم هاضم ۱۱۰۰ متر مکعب باشد، چند مترمکعب لجن تلقیحی مورد نیاز است؟

$$\text{Seed volume (m}^3\text{)} = 1100 \text{ (m}^3\text{)} \times 25\% = 275 \text{ m}^3$$





۲-۲-۲۱. نسبت اسیدهای فرار به قلیائیت

از این نسبت برای کنترل هاضم‌های بی‌هوازی استفاده می‌شود.

$$\text{Ratio} = \frac{\text{volatile acids concentration}}{\text{alkalinity concentration}}$$

Ratio: نسبت اسیدهای فرار به قلیائیت

Volatile acids concentration: غلظت اسیدهای فرار

Alkalinity concentration: غلظت قلیائیت

مثال ۵-۲۱. یک هاضم حاوی ۲۴۰ میلی گرم بر لیتر اسیدهای فرار و ۱۸۴۰ میلی گرم بر لیتر قلیائیت است.

نسبت اسیدهای فرار به قلیائیت چه مقدار است؟

$$\text{Ratio} = \frac{240}{1840} = 0.13$$

نکته: افزایش در این نسبت اغلب نشان‌دهنده‌ی یک تغییر بالقوه در وضعیت کارکرد هاضم است.

۳-۲-۲۱. زمان ماند لجن

$$\text{BRT} = \frac{\text{digester volume (m}^3\text{)}}{\text{biosolids volume added per day (}\frac{\text{m}^3}{\text{day}}\text{)}}$$

BRT: زمان ماند لجن

Digester volume: حجم هاضم

Biosolids volume added per day: حجم لجن که روزانه به هاضم اضافه می‌شود

مثال ۶-۲۱. لجن بادبی ۵۰ متر مکعب بر روز به هاضمی به حجم ۲۰۰۰ متر مکعب وارد می‌شود. زمان ماند

لجن چه میزان است؟

$$\text{BRT} = \frac{2000 (\text{m}^3)}{50 (\frac{\text{m}^3}{\text{day}})} = 40 \text{ days}$$

۴-۲-۲۱. تخمین تولید گاز (متر مکعب بر روز)

نرخ تولید گاز اغلب به صورت حجم گاز تولید شده (متر مکعب) در ازای حذف کیلوگرم مواد فرار بیان می‌شود.

$$\text{Gas production (m}^3/\text{day)} = \text{volatile matter in (kg/day)} \times \% \text{ volatile reduction} \times \text{production rate (}\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}\text{)}$$

Gas production: تولید گاز

Volatile matter in: میزان مواد فرار وارد شده بر حسب کیلوگرم بر روز

% volatile reduction: درصد کاهش مواد فرار

Production rate: نرخ تولید

مثال ۷-۲۱. یک هاضم ۵۲۰۰ کیلوگرم مواد فرار را در طول روز کاهش می‌دهد. در حال حاضر، هاضم می‌تواند ۵۵ درصد از مواد فرار را کاهش دهد. نرخ تولید گاز ۰/۷ مترمکعب به ازای حذف کیلوگرم مواد فرار است. روزانه چه مقدار گاز تولید می‌شود؟

$$\text{Gas production (m}^3/\text{day)} = 5200 \text{ (kg/day)} \times 0.55 \times 0.7 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right) = 2002 \text{ m}^3/\text{day}$$

۵-۲-۲۱. کاهش مواد فرار (درصد)

به علت تغییراتی که هنگام هضم لجن اتفاق می‌افتد، محاسبات‌های تعیین درصد کاهش مواد فرار پیچیده تر است.

$$\% \text{ Reduction} = \frac{(\% \text{ volatile matter}_{in} - \% \text{ volatile matter}_{out}) \times 100}{[\% \text{ volatile matter}_{in} - (\% \text{ volatile matter}_{in} \times \% \text{ volatile matter}_{out})]}$$

% Reduction: درصد کاهش مواد فرار

% volatile matter_{in}: درصد مواد فرار در ورودی

% volatile matter_{out}: درصد مواد فرار در خروجی

مثال ۸-۲۱. میزان درصد کاهش مواد فرار را برای هاضمی که میزان مواد فرار لجن ورودی آن ۷۱ درصد و مواد فرار لجن خروجی آن ۵۴ درصد است را محاسبه کنید.

$$\% \text{ Reduction} = \frac{0.71 - 0.54}{0.71 - (0.71 \times 0.54)} \times 100 = 52\%$$

۶-۲-۲۱. درصد کاهش رطوبت در لجن هضم شده

$$\% \text{ Moisture reduction} = \frac{(\% \text{ moisture}_{in} - \% \text{ moisture}_{out}) \times 100}{[\% \text{ moisture}_{in} - (\% \text{ moisture}_{in} \times \% \text{ moisture}_{out})]}$$

نکته‌ی نخست: % solids = 100 - % moisture

% Moisture reduction: درصد کاهش رطوبت

% moisture_{in}: درصد رطوبت در ورودی

% moisture_{out}: درصد رطوبت در خروجی

مثال ۹-۲۱. با توجه به اطلاعات داده شده‌ی هاضم زیر، درصد کاهش رطوبت را در آن تعیین کنید.

لجن خام: جامدات، ۹ درصد - رطوبت، ۹۱ درصد

لجن خروجی: جامدات، ۱۵ درصد - رطوبت، ۸۵ درصد

$$\% \text{ Moisture reduction} = \frac{0.91 - 0.85}{0.91 - (0.91 \times 0.85)} \times 100 = 44\%$$







فصل بیست و دو: آبگیری لجن و دفع

روش های آبگیری به صورت های زیر است.

- صافی فشاری (فیلتر پرس)
- صافی سازی در خلا
- بسترهای ماسه ای

افزون بر آن، از روش سانتریفیوژ نیز می توان استفاده کرد. در این بخش به سه روش گفته شده که متداول تر هستند، پرداخته می شود. توجه به این نکته ضروری است که آبگیری ایده آل، باعث جمع آوری تمام جامدات بیولوژیک با کمترین هزینه می شود.

۱-۲۲. محاسبه های صافی فشاری (فیلتر پرس)

انواع مختلفی از صافی فشاری موجود است اما متداول ترین آن ها قاب و صفحه و نواری هستند.

۱-۱-۲۲. نرخ بارگزاری جامدات در صافی فشاری قاب و صفحه

$$\text{Solids loading rate } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}} \right) = \frac{\text{biosolids } \left(\frac{\text{m}^2}{\text{hr}} \right) \times \left(\frac{\% \text{ solids}}{100} \right)}{\text{plate area } (\text{m}^2)}$$

Solids loading rate: نرخ بارگزاری جامدات

Biosolids: جامدات بیولوژیک

% Solids: درصد جامدات

Plate area: مساحت صفحه

مثال ۱-۲۲. به یک صافی فشاری که به منظور آبگیری از لجن اولیه هضم شده به کار می رود، در مدت یک ساعت، دبی ۱/۲۵ متر مکعب وارد می شود. لجن دارای ۳/۳ درصد جامدات است. در صورتی که مساحت سطح صفحه ۱۱ متر مربع باشد، نرخ بارگزاری جامدات را محاسبه کنید.

$$\text{Solids loading rate } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}} \right) = \frac{1.25 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{hr}} \right) \times \left(\frac{3.3}{100} \right)}{11 (\text{m}^2)} = 0.00375 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}$$

۲-۱-۲۲. بازدهی خالص صاف سازی در صافی فشاری قاب و صفحه

$$\text{Net filter yield } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}} \right) = \frac{\text{biosolids } \left(\frac{\text{m}^2}{\text{hr}} \right) \times \left(\frac{\% \text{ solids}}{100} \right)}{\text{plate area } (\text{m}^2)} \times \frac{\text{filter run time}}{\text{total cycle time}}$$

Net filter yield: بازدهی خالص صاف سازی

Biosolids: جامدات بیولوژیک



Solids % : درصد جامدات

Plate area : مساحت صفحه

Filter run time : زمان کارکرد صافی

Total cycle time : کل زمانی سیکل صافی سازی

مثال ۲-۲۲. به یک صافی فشاری که به منظور آگیری از لجن اولیه هضم شده به کار می رود، در مدت یک ساعت، دبی ۱/۲۵ متر مکعب وارد می شود. لجن دارای ۳/۳ درصد جامدات است. در صورتی که مساحت سطح صفحه ۱۰ متر مربع باشد و زمان تخلیه ی کیک لجن ۱۰ دقیقه باشد، بازدهی خالص صاف سازی را محاسبه کنید.

$$\text{Net filter yield} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2, \text{hr}} \right) = \frac{1.25 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{hr}} \right) \times \left(\frac{3.3}{100} \right)}{10 (\text{m}^2)} \times \frac{1 \text{ hr}}{1.16 \text{ hr}} = 0.0035 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2, \text{hr}}$$

۳-۱-۲۲. بارگزاری هیدرولیکی در صافی فشاری نواری

$$\text{Hydraulic loading rate} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr. m}} \right) = \frac{\text{flow} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{hr}} \right)}{\text{belt width (m)}}$$

Hydraulic loading rate : بارگزاری هیدرولیکی

Flow : دبی

Belt width : پهنای نوار

مثال ۳-۲۲. به یک صافی فشاری نواری به پهنای ۱/۸ متر، جریان لجن ته نشینی اولیه با دبی ۲۴ متر مکعب بر ساعت وارد می شود. بارگزاری هیدرولیکی را محاسبه کنید.

$$\text{Hydraulic loading rate} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr. m}} \right) = \frac{24 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{hr}} \right)}{1.8 (\text{m})} = 13.4 \frac{\text{m}^3}{\text{hr. m}}$$

۴-۱-۲۲. نرخ جریان ورودی لجن در صافی نواری

$$\text{Biosolids feed rate} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right) = \frac{\text{biosolids to be dewatered} \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right)}{\text{operating time (hr/day)}}$$

Biosolids feed rate : نرخ جریان ورودی لجن

Biosolids to be dewatered : لجنی که باید آگیری شود

Operating time : زمان بهره برداری از صافی

مثال ۴-۲۲. مقدار ۱۰۲۵۰ کیلوگرم از لجن روزانه توسط صافی نواری باید آگیری شود. در صورتی که صافی ۱۰ ساعت در شبانه روز بهره برداری شود، نرخ جریان ورودی لجن به صافی چه میزان باید باشد؟



$$\text{Biosolids feed rate } \left(\frac{kg}{hr} \right) = \frac{10250 \left(\frac{kg}{day} \right)}{10 \left(\frac{hr}{day} \right)} = 1025 \frac{kg}{hr} \text{ یا } 1 \text{ ton/hr}$$

۵-۱-۲۲. نرخ بارگزاری جامدات در صافی نواری

$$\text{Solids loading rate } \left(\frac{kg}{hr} \right) = \text{Feed } \left(\frac{m^3}{hr} \right) \times \%TSS \times 10$$

Solids loading rate: نرخ بارگزاری جامدات

Feed: دبی

مثال ۵-۲۲. مقدار جریان ورودی به صافی نواری ۲۷ متر مکعب بر ساعت است. در صورتی که غلظت TSS جریان ورودی ۴ درصد باشد، نرخ بارگزاری جامدات را محاسبه کنید.

$$\text{Solids loading rate } \left(\frac{kg}{hr} \right) = 27 \left(\frac{m^3}{hr} \right) \times 4 \times 10 = 1080 \text{ kg/hr}$$

۶-۱-۲۲. نرخ جریان لخته سازی در صافی نواری

$$\text{Flocculant feed } \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{\text{flocculant } \left(\frac{mg}{L} \right) \times \text{feed rate } \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000}$$

Flocculant feed: نرخ جریان لخته سازی

Feed rate: دبی

مثال ۶-۲۲. غلظت لخته ساز در یک صافی نواری ۱ درصد (۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) است. در صورتی که دبی روزانه ی تزریق لخته سازی ۱۶ متر مکعب باشد، نرخ جریان لخته سازی را محاسبه کنید.

$$\text{Flocculant feed } \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{10000 \left(\frac{mg}{L} \right) \times 16 \left(\frac{m^3}{day} \right)}{1000} = 160 \text{ kg/day}$$

دبی جریان لخته سازی را بر حسب کیلوگرم بر ساعت نیز به صورت زیر می توان محاسبه کرد.

$$\frac{160 \text{ kg/day}}{24 \text{ hr/day}} = 6.7 \text{ kg/hr}$$

۷-۱-۲۲. دوز تزریق جریان لخته سازی در صافی فشاری نواری

$$\text{Flocculant dosage } \left(\frac{kg}{ton} \right) = \frac{\text{flocculant } (kg/hr)}{\text{solids treated } \left(\frac{ton}{hr} \right)}$$

Flocculant dosage: دوز تزریق جریان لخته سازی

Flocculant: دبی تزریق لخته سازی

Solids treated: لجن تصفیه شده



مثال ۷-۲۲. به یک صافی نواری، با نرخ بارگذاری لجن ۱۵۵۰ کیلوگرم بر ساعت، و دبی لخته‌سازی ۵/۴ کیلوگرم بر ساعت وارد می‌شود. دوز تزریق جریان لخته‌سازی را برحسب کیلوگرم مواد تزریقی بر تناژ لجن تصفیه‌شده محاسبه کنید.

$$\text{Flocculant dosage } \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right) = \frac{1550 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right)}{5.4 \left(\frac{\text{ton}}{\text{hr}} \right)} = 287.3 \text{ kg/ton}$$

۲-۲۲. محاسبه‌های صافی خلا چرخان

۱-۲-۲۲. بارگذاری صافی

$$\text{Filter loading } \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr.m}^2} \right) = \frac{\text{biosolids flow } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right) \times \% \text{ solids} \times 10}{\text{surface area (m}^2\text{)}}$$

Filter loading: بارگذاری صافی

Biosolids flow: دبی ورودی لجن

% Solids: درصد جامدات ورودی به صافی

Surface area: مساحت سطح

مثال ۸-۲۲. لجن هضم‌شده با دبی ۱۵ متر مکعب بر ساعت و غلظت جامدات ۳ درصد به صافی خلا وارد می‌شود. در صورتی که مساحت سطح صافی خلا ۲۷ متر مربع باشد، بارگذاری صافی را محاسبه کنید.

$$\text{Filter loading } \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr.m}^2} \right) = \frac{15 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right) \times 3 \times 10}{27 \text{ (m}^2\text{)}} = 16.7 \frac{\text{kg}}{\text{hr.m}^2}$$

۲-۲-۲۲. بازدهی صافی

$$\text{Filter yield } \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr.m}^2} \right) = \frac{\text{wet cake flow } \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right) \times \left(\frac{\% \text{ solids in cake}}{100} \right)}{\text{filter area (m}^2\text{)}}$$

Filter yield: بازدهی صافی

Wet cake flow: دبی کیک لجن تر

% solids in cake: درصد جامدات موجود در کیک لجن

Filter area: مساحت سطح صافی

مثال ۹-۲۲. میزان دبی کیک لجن تر خارج‌شده از یک صافی خلا ۴۱۰۰ کیلوگرم بر ساعت است. در صورتی که مساحت سطح صافی ۲۷ متر مربع و درصد جامدات در کیک لجن ۲۵ درصد باشد، بازدهی صافی را محاسبه کنید.



۳-۲-۲۲. زمان بهره‌برداری صافی خلا

$$\text{Filter operation } \left(\frac{\text{hr}}{\text{day}} \right) = \frac{\text{solids to filter } \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right)}{\text{Filter yield } \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr} \cdot \text{m}^2} \right) \times \text{filter area } (\text{m}^2)} \times \frac{\% \text{ recovery}}{100}$$

Filter operation: زمان بهره‌برداری

Solids to filter: دبی لجن ورودی به صافی خلا

Filter yield: بازدهی صافی

Filter area: مساحت سطح صافی

% Recovery: درصد بازیافت لجن

مثال ۳-۲۲-۱. یک صافی خلا باید لجن ته‌نشینی اولیه به میزان ۱۸۰۰ کیلوگرم بر روز را پردازش کند. بازدهی صافی خلا ۱۰/۷ kg/hr.m² است. نرخ بازیافت لجن ۹۵ درصد است. در صورتی که مساحت سطح صافی ۱۹/۵ متر مربع باشد، روزانه چند ساعت صافی خلا باید بهره‌برداری شود تا این میزان لجن پردازش شود؟

$$\text{Filter operation } \left(\frac{\text{hr}}{\text{day}} \right) = \frac{1800 \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right)}{10.7 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr} \cdot \text{m}^2} \right) \times 19.5 (\text{m}^2)} \times \frac{95}{100} = 8.2 \text{ hr}$$

۴-۲-۲۲. درصد بازیافت جامدات

$$\% \text{ Solids recovery} = \frac{\text{wet cake flow } \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right) \times \frac{\% \text{ solids in cake}}{100}}{\text{biosolids feed rate } \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right) \times \frac{\% \text{ solids in feed}}{100}} \times 100$$

% Solids recovery: درصد بازیافت جامدات

Wet cake flow: دبی کیک لجن تر

% Solids in cake: درصد جامدات کیک لجن

Biosolids feed rate: دبی لجن ورودی به صافی

% Solids in feed: درصد جامدات در جریان لجن ورودی

مثال ۴-۲۲-۱۱. دبی لجن ورودی به یک صافی خلا ۱۵۵۰ کیلوگرم بر ساعت و درصد جامدات آن ۵/۱ درصد است. در صورتی که دبی کیک لجن تر ۲۷۰ کیلوگرم بر ساعت با درصد جامدات ۲۵ درصد باشد، درصد بازیافت جامدات را محاسبه کنید.

$$\% \text{ Solids recovery} = \frac{270 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right) \times \frac{25}{100}}{1550 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right) \times \frac{5.1}{100}} \times 100 = 85\%$$



۳-۲۲. محاسبه‌های آگیری بسترهای ماسه‌ای

در بیش‌تر موارد، از سه روش برای کنترل عملکرد بسترهای ماسه‌ای استفاده می‌شود. این سه روش شامل محاسبه‌ی کل لجن اعمال شده، نرخ بارگزاری جامدات، و خروج لجن به بسترهای ماسه‌ای است.

۱-۳-۲۲. کل لجن اعمال شده

لجن وارد شده به بسترهای ماسه‌ای، از طریق ابعاد بستر و ارتفاع لجن در آن، طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Volume (m^3) = Length (m) \times width (m) \times depth (m)$$

Volume: حجم لجن در بستر ماسه‌ای

Length: طول بستر ماسه‌ای

Width: عرض بستر ماسه‌ای

Depth: عمق لجن در بستر

مثال ۱۲-۲۲. یک بستر با ابعاد ۶۷ متر در ۶ متر با عمق لجن ۰/۱ متر موجود است. چند مترمکعب لجن در این بستر وجود دارد؟

$$Volume (m^3) = 67 (m) \times 6 (m) \times 0.1 (m) = 40 m^3$$

۲-۳-۲۲. نرخ بارگزاری جامدات

این متغیر طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Solids \text{ loading rate } \left(\frac{kg}{yr.m^2} \right) = \frac{\frac{biosolids \text{ applied } (kg)}{days \text{ of application}} \times 365 \times \frac{\% \text{ solids}}{100}}{length (m) \times width (m)}$$

Solids loading rate: نرخ بارگزاری جامدات

Biosolids applied: لجن اعمالی به بستر ماسه‌ای

Days of application: تعداد روزهای عملیات بستر در یک دوره از ورود تا خروج لجن

% solids: درصد مواد جامد در لجن

Length: طول بستر ماسه‌ای

Width: عرض بستر ماسه‌ای

مثال ۱۳-۲۲. ابعاد یک بستر لجن ۶۴ متر در ۷/۵ متر است. در هر بار عملیات بستر، میزان ۷۸۲۵۰ کیلوگرم لجن بر آن وارد می‌شود. لجن ۵ درصد مواد جامد دارد. در صورتی که دوره‌ی خشک شدن و دفع لجن ۲۱ روز باشد، نرخ بارگزاری جامدات را محاسبه کنید.



$$\text{Solids loading rate } \left(\frac{kg}{yr. m^2} \right) = \frac{78250 (kg)}{21} \times 365 \times \frac{5}{100} = 0.4 \frac{kg}{yr. m^2}$$

۳-۳-۲۲. خروج لجن به بستر ماسه‌ای

$$\text{Biosolids withdrawn } (m^3) = 0.785 \times D^2 (m^2) \times \text{drawdown } (m)$$

Biosolids withdrawn: لجن خروجی به بستر ماسه‌ای

D: قطر هاضم

Drawdown: عمق فروکش لجن در هاضم پس از پمپاژ به سمت بستر ماسه‌ای

مثال ۱۴-۲۲. لجن از هاضمی به قطر ۱۲ متر دفع می‌شود. در صورتی که عمق لجن در هاضم ۰/۶ متر

کاهش یابد، چند مترمکعب لجن به بسترهای ماسه‌ای فرستاده می‌شود؟

$$\text{Biosolids withdrawn } (m^3) = 0.785 \times 12^2 (m^2) \times 0.6 (m) = 68 m^3$$

۴-۲۲. دفع لجن

۱-۴-۲۲. محاسبه‌های عملیات دفع در زمین

۱-۱-۴-۲۲. هزینه‌ی دفع

$$\text{Cost} = \text{Biosolids produced} \left(\text{wet } \frac{\text{ton}}{\text{year}} \right) \times \% \text{ solids} \times \frac{\text{cost}}{\text{dry ton}}$$

Cost: هزینه‌ی دفع

Biosolids produced (wet ton/year): لجن تر تولیدی در یک سال

% solids: درصد جامدات

Cost/dry ton: قیمت دفع برای هر تن لجن خشک

مثال ۱۵-۲۲. فرآیند تصفیه، سالانه ۱۹۲۵ تن لجن تر برای دفع تولید می‌کند. لجن دارای ۱۸ درصد مواد

جامد است. یک پیمانکار با قیمت ۱/۵ میلیون ریال به ازای هر تن لجن تر، آن را دفع می‌کند. هزینه‌ی سالیانه

دفع لجن چه میزان است؟

$$\text{Cost} = 1925 \left(\text{wet } \frac{\text{ton}}{\text{year}} \right) \times 0.18 \times \frac{150,000}{\text{dry ton}} = 52,000,000 \text{ Rials}$$

۲-۱-۴-۲۲. نیتروژن قابل دسترس برای گیاهان^۸

یکی از متغیرهایی که در هنگام دفع لجن باید به آن توجه شود، میزان نیتروژن قابل دسترس برای گیاهان



در محل دفع است. این نیتروژن شامل نیتروژن آمونیاکی و نیتروژن آلی است. نیتروژن آلی برای استفاده توسط گیاهان باید به شکل معدنی در آید. سالیانه تنها بخشی از نیتروژن آلی تبدیل به معدنی می شود. عامل معدنی سازی (f^1) به صورت پیش فرض 0.2 در نظر گرفته می شود. میزان نیتروژن آمونیاکی در دسترس به صورت مستقیم مرتبط با زمان سپری شده از تخلیه ی لجن تا ریختن آن بر روی خاک است.

$$PAN \left(\frac{kg}{dry ton} \right) = \frac{\left\{ organic\ nitrogen \left(\frac{mg}{kg} \right) \times f^1 \right\} + \left[ammonium\ nitrate \left(\frac{mg}{kg} \right) \times V_1 \right]}{1}$$

PAN: نیتروژن قابل دسترس برای گیاهان

Organic nitrogen: نیتروژن آلی

Ammonium nitrate: نیتروژن آمونیاکی

f^1 : فاکتور معدنی سازی به صورت پیش فرض 0.2 در نظر گرفته می شود.

V_1 : میزان تخییر نیتروژن آمونیاکی

- برابر با $1/0$ در صورتی که لجن تزریق شده باشد.
- بابر 0.85 در صورتی که لجن 24 ساعته بر روی خاک ریخته شود.
- برابر با 0.7 در صورتی که لجن 7 روزه بر روی خاک ریخته شود.

مثال ۱۶-۲۲. هر کیلوگرم لجن حاوی 21000 میلی گرم نیتروژن آلی و 10500 میلی گرم نیتروژن آمونیاکی است. پس از پردازش، لجن در مدت 24 ساعت بر روی خاک ریخته شده است. میزان PAN را محاسبه کنید.

$$PAN \left(\frac{kg}{dry ton} \right) = \frac{\left\{ 21000 \left(\frac{mg}{kg} \right) \times 0.2 \right\} + \left[10500 \left(\frac{mg}{kg} \right) \times 0.85 \right]}{1000} = 13$$

۳-۱-۴-۲۲. نرخ دفع فلزات

هنگامی که لجن به زمین دفع می شود، غلظت فلزات به شدت باید کنترل شده و تاثیر آن ها بر خاک محاسبه می شود.

$$Loading\ rate \left(\frac{kg}{hectare} \right) = \frac{Metal\ concentration\ (mg/kg) \times application\ rate\ \left(\frac{dry\ ton}{hectare} \right)}{1000}$$

Loading rate: نرخ بارگزاری فلزات

Metal concentration: غلظت فلزات

Application rate: میزان لجن بر حسب تن در هر هکتار زمین

مثال ۱۷-۲۲. هر کیلوگرم لجن حاوی 14 میلی گرم سرب است. در حال حاضر لجن با نرخ 11 تن لجن تر در هر هکتار به زمین دفع می شود. نرخ دفع فلزات بر زمین چه میزان است؟

$$Loading\ rate \left(\frac{kg}{hectare} \right) = \frac{14\ (mg/kg) \times 11\ \left(\frac{dry\ ton}{hectare} \right)}{1000} = 0.154\ dry\ ton/hectare$$





۴-۱-۴-۲۲. تعداد نهایی دفع به زمین با توجه به نرخ دفع فلزات

در صورت وجود فلز در لجن، میزان دریافت لجن توسط زمین محدود و طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Application = \frac{\text{maximum allowable cumulative load for the metal } (\frac{kg}{hectare})}{\text{metal loading } (\frac{kg}{hectare \cdot application})}$$

Application: تعداد نهایی دفع به زمین با توجه به نرخ دفع فلزات

Maximum allowable cumulative load for the metal: میزان مجاز تجمعی فلزات

Metal loading: نرخ بارگزاری فلزات

مثال ۱۸-۲۲. میزان مجاز تجمعی فلزات ۲۰ کیلوگرم بر هکتار است. بر اساس نرخ فعلی بارگزاری ۰/۱۵ کیلوگرم بر هکتار، چند بار می‌توان در این زمین عملیات دفع انجام داد؟

$$Application = \frac{20 (\frac{kg}{hectare})}{0.15 (\frac{kg}{hectare \cdot application})} = 133$$

۵-۱-۴-۲۲. طول عمر محل دفن لجن با توجه به نرخ بارگزاری فلزات

$$Site\ life\ (year) = \frac{\text{maximum allowable applications}}{\text{number of applications planned/year}}$$

Site life: طول عمر محل دفن لجن

Maximum allowable applications: حداکثر تعداد عملیات‌های مجاز

Number of applications planned/year: تعداد عملیات‌های برنامه‌ریزی شده در سال

مثال ۱۹-۲۲. در یک محل دفن لجن سالانه ۲ بار لجن دفع می‌شود. براساس محتویات سرب لجن، تعداد نهایی عملیات بر روی این محل ۱۳۵ بار محاسبه شده است. بر اساس اطلاعات داده شده، چند سال می‌توان از این محل استفاده کرد؟

$$Site\ life\ (year) = \frac{135}{2} = 68$$

نکته: در صورتی که بیش‌تر از یک فلز در لجن باشد، این محاسبه‌ها باید برای هر فلز به صورت جداگانه انجام شود. در نهایت مدت سال‌های استفاده از سایت برابر با کم‌ترین مقدار به دست آمده است.

۲-۴-۲۲. محاسبه‌های کمپوست

محاسبه‌های کنترل عملیات کمپوست، شامل تعیین درصد رطوبت کمپوست و ظرفیت محل کمپوست می‌شود.

۲۲-۴-۱. ترکیب لجن آگیری شده با لجن کمپوست شده

$$\% \text{ moisture of mixture} = \frac{\text{biosolids} \left(\frac{kg}{day} \right) \times \frac{\% \text{ moisture}}{100} + \text{compost} \left(\frac{kg}{day} \right) \times \frac{\% \text{ moisture}}{100}}{\text{biosolids} \left(\frac{kg}{day} \right) + \text{compost} \left(\frac{kg}{day} \right)} \times 100$$

% moisture of mixture: درصد رطوبت ترکیب

Biosolids: مقدار لجن

% moisture: درصد رطوبت

Compost: مقدار کمپوست

مثال ۲۲-۲۰. در صورتی که ۲۳۰۰ کیلوگرم لجن آگیری شده با ۹۰۰ کیلوگرم کمپوست ترکیب شود، درصد رطوبت ترکیب چه میزان است؟ رطوبت لجن آگیری شده ۷۵ درصد و رطوبت کمپوست ۳۰ درصد است.

$$\% \text{ moisture of mixture} = \frac{2300 \left(\frac{kg}{day} \right) \times \frac{75}{100} + 900 \left(\frac{kg}{day} \right) \times \frac{30}{100}}{2300 \left(\frac{kg}{day} \right) + 900 \left(\frac{kg}{day} \right)} \times 100 = 62\%$$

۲۲-۴-۲. محاسبه‌های مرتبط با ظرفیت محل کمپوست

یکی از موارد مهم که باید در نظر گرفته شود، ظرفیت پردازش جامدات بر حسب کیلوگرم در روز و کیلوگرم در هفته است.

$$\text{Fill time (day)} = \frac{\text{total available capacity (m}^3\text{)}}{\frac{\text{wet compost} \left(\frac{kg}{day} \right)}{\text{compost bulk density} \left(\frac{kg}{m^3} \right)}}$$

Fill time: زمان تکمیل ظرفیت

Total available capacity: کل ظرفیت موجود

Wet compost: کمپوست تر

Compost bulk density: چگالی توده کمپوست

مثال ۲۲-۲۱. یک تاسیسات تولید کمپوست، ظرفیت ۵۸۰۰ متر مکعب دارد. در صورتی که دوره‌ی تولید کمپوست ۲۱ روز باشد، روزانه چند کیلوگرم کمپوست تر در این تاسیسات می‌تواند پردازش شود؟ چگالی توده‌ی کمپوست ۵۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب است.

$$21 \text{ (days)} = \frac{5800 \text{ (m}^3\text{)}}{x \left(\frac{kg}{day} \right)} \rightarrow 21 \text{ (days)} = \frac{5800 \text{ (m}^3\text{)} \times 533 \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{x \left(\frac{kg}{day} \right)} \rightarrow x \left(\frac{kg}{day} \right) = \frac{5800 \text{ (m}^3\text{)} \times 533 \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{21 \text{ (days)}} \rightarrow x$$

$$= 147,209 \frac{kg}{day} \text{ یا } 147 \text{ ton/day}$$









Mathematics Manual

for

WATER AND WASTEWATER TREATMENT PLANT OPERATORS



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور



<https://ope.nww.ir>