

کیفیت آب و مینے

طراحہ تصفیہ خانہ آب

مولفین:

دکتر عبداله درگاہی

دکتر امیر شعبانلو



انتشارات دانشگاهی فرهنگ

.....

نام کتاب: کیفیت آب و مبانی طراحی تصفیه خانه آب

مولفین: عبدالله درگاهی / امیر شعبانلو

ویراستار و طراح جلد: علیرضا فرهنگزادگان

تاریخ و نوبت چاپ: اول ۱۳۹۹

شمارگان: ۷۰۰ نسخه

بها: ۱۱۰۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۷۳۱۵-۱۶-۵

.....

حق چاپ برای نشر دانشگاهی فرهنگ محفوظ می باشد

نشانی: تهران، خیابان انقلاب، نرسیده به ۱۲ فروردین، ساختمان ۱۳۲۰، طبقه زیر

تلفن: ۶۶۴۱۰۶۸۸ - ۶۶۹۵۳۷۷۴

WWW.FARBOOK.IR

Farbook.pub@gmail.com

سرشناسه	:	درگاهی، عبدالله، ۱۳۶۳ -
عنوان و نام پدیدآور	:	کیفیت آب و مبانی طراحی تصفیه خانه آب / مولفین عبدالله درگاهی، امیر شعبانلو.
مشخصات نشر	:	تهران: نشر دانشگاهی فرهنگ، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	:	۳۷۰ ص.
شابک	:	978-622-7315-16-5
وضعیت فهرست نویسی	:	فیا
موضوع	:	آب -- کیفیت
موضوع	:	Water quality
موضوع	:	آب -- تصفیه خانه ها
موضوع	:	Water treatment plants
شناسه افزوده	:	شعبانلو، امیر، ۱۳۶۵ -
رده بندی کنگره	:	TD۳۷۰
رده بندی دیویی	:	۶۳۸/۱۶۱
شماره کتابشناسی ملی	:	۷۵۷۱۰۷۹
وضعیت رکورد	:	فیا

پیشگفتار

کیفیت آب به ویژگی های شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیکی و رادیولوژیکی آب اشاره دارد. این، اندازه گیری شرایط آب نسبت به الزامات یک یا چند گونه حیاتی و یا به هر نیاز یا هدف انسان است. کیفیت آب اغلب با ارجاع به مجموعه ای از استانداردها مطابقت دارد که رعایت آنها، معمولاً از طریق تصفیه آب به دست می آید. متداولترین استانداردهای مورد استفاده برای ارزیابی کیفیت آب مربوط به سلامتی اکوسیستم ها، ایمنی تماس انسان و آب آشامیدنی است. اکثریت قریب به اتفاق آبهای سطحی روی زمین نه قابل شرب و نه سمی است. این مورد زمانی صحیح باقی می ماند که آب دریا در اقیانوس ها (که برای نوشیدن بیش از حد نمکی است) محاسبه نمی شود. یکی دیگر از ادراک عمومی کیفیت آب یک ویژگی ساده است که نشان می دهد آب آلوده است یا نه. در واقع کیفیت آب یک موضوع پیچیده است، بخشی به دلیل اینکه آب یک محیط پیچیده است که به طور ذاتی با محیط زیست زمین مرتبط است. فعالیت های صنعتی و تجاری (به عنوان مثال تولید، معدن کاری، ساخت و ساز و حمل و نقل) رواناب حاصل از مناطق کشاورزی، رواناب شهری و تخلیه فاضلاب های تصفیه شده یا نشده یکی از دلایل اصلی آلودگی آب هستند. با توجه به مطالب ارائه شده، کتاب حاضر انتقال تجارب بسیار خوب و منبع آموزشی مرتبط و با ارزشی برای درس کیفیت آب و روش طراحی تصفیه خانه آب برای دانشجویان رشته مهندسی بهداشت محیط، محیط زیست و مهندس عمران آب است. در پایان از همه مرتبطین علمی و تجربی با موضوع پیش روی، طلب مساعدت می-نماید در استفاده از کتاب با بازخورد علاقمندانه خود مولفین را مورد عنایت قرار دهند.

و من الله التوفیق و علیه التکلان

دکتر عبدالله درگاهی

استادیار مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی اردبیل

دکتر امیر شعبانلو

دکترای مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی همدان

فهرست مطالب

فصل اول: فرآیندهای مایع - گاز: اصول و کاربردها	۵
فصل دوم: اکسیداسیون شیمیایی	۱۹
فصل سوم: انعقاد و لخته سازی	۵۱
فصل چهارم: ته نشینی و شناورسازی	۷۵
فصل پنجم: فیلتراسیون	۱۳۳
فصل ششم: غشاها	۱۹۰
فصل هفتم: تبادل یون	۲۲۴
فصل هشتم: گندزدایی شیمیایی	۲۷۱
فصل نهم: تشکیل و کنترل DBPs	۲۹۳
فصل دهم: نمونه کاربردی طراحی تصفیه خانه آب	۳۲۲
اختصارات	۳۶۱
واژه نامه	۳۶۴
منابع	۳۶۶

فصل اول

فرآیندهای مایع - گاز:

اصول و کاربردها

مقدمه:

رها سازی با هوا^۱ به عنوان فرآیندی که موجب می شود، عناصر فرار نظیر گاز ها و ترکیبات آلی از آب به هوا منتقل شوند، تعریف می شود. جذب^۲ در مقابل رها سازی با هوا است چرا که عناصری مثل گاز ها را از هوا به آب منتقل می کند. متداول ترین سیستم های رها سازی با هوا و سیستم های هوادهی، هوای (محلول شده) پخش شده^۳، هواده سطحی، spray و سیستم های برج آکنده هستند.

هوادهی diffused یا حباب:

اساساً برای جذب گاز های واکنشی مانند O_2 ، O_3 ، Cl_2 (کلر)، ترکیبات آلی فرار (VOC^4) استفاده می شود.

این سیستم هم چنین برای رها کردن^۵ بوی حاصل از VOC_s ها استفاده می شود.

برج های آکنده و سیستم های spray nozzle اساساً برای حذف H_2S ، CO_2 ، NH_3 و VOC است.

برج های آکنده از نظر نوع جریان:

(۱) جریان مخالف.

(۲) موافق یا هم سو.

(۳) جریان جانبی (Cross-flow) هستند.

^۱ Air stripping

^۲ Absorption

^۳ diffused air

^۴ Volatile organic compounds

^۵ stripping

Spray nozzle شامل:

(۱) نوع برجی (tower)

(۲) نوع فواره ای (fountain) است.

کاربرد دیگر سیستم های گاز-مایع: انحلال هوا داخل آب بازیافت شده تحت فشار در برج های آکنده که اشباع کننده نامیده می شوند. اشباع کننده و متعاقب آن تولید حباب های هوا است وقتی که آب وارد یک نازل باز برای زلال سازی می رود.

تئوری انتقال گاز:

معادلات:

برای اکثر کاربری های هوادهی و رهاسازی هوا در آب، تعادل جز به جز یک گاز یا آلاینده آلی بین هوا و آب می تواند با قانون هنری^۱ شرح داده شود.

فرض: دمای ثابت

$$K_{eq} = \frac{a_{air}}{a_{aq}}$$

K_{eq} : ثابت تعادل.

a_{air} : فعالیت مولفه A در فاز گاز.

a_{aq} : فعالیت مولفه A در فاز مایع.

در فشار ۱ اتمسفر (atm)، گاز رفتار ایده آل دارد و معادله:

$$H = K_{eq} = \frac{P_A}{\gamma_A A}$$

^۱ Henry law

H: ثابت قانون هنری (atm-L/mol) مولفه A.

P_A : فشار (atm) در فاز گازی.

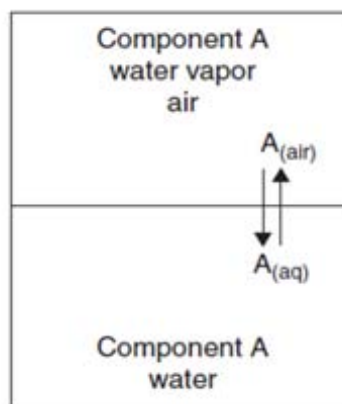
γ_A : ضریب فعالیت مولفه A در فاز مایع.

A: غلظت مولار A در فاز مایع (mol/L).

برای شدت یونی کم قانون هنری ممکن است به صورت زیر نوشته شود:

$$P_A = H[A]$$

واحد H: atm-L/mol



اما H می تواند واحد های دیگری هم داشته باشد:

(۱) atm

(۲) L-atm/mol

(۳) Lit H_2O /Lit Air

در کتاب AWWA، ۳ ثابت هنری است:

(۱) H ثابت قانون هنری برای مولفه A، atm-L/mol

(۲) H_0 ثابت قانون هنری برای اکسیژن، atm-mol/L

(۳) H_{app} ثابت قانون هنری برای آشکار، atm-L/mol

تخمین ثابت هنری:

زمانی که ثابت هنری برای یک مولفه در دسترس نباشد، می توان آن را تخمین زد، اگر فشار بخار مولفه و حلالیت محلول مشخص باشد. ۲ موقعیت برای تخمین ثابت هنری وجود دارد:

(۱) زمانی که مولفه A به طور عالی قابل اختلاط در فاز مایع است.

(۲) زمانی که مولفه A غیر قابل اختلاط در فاز مایع است.

میزان تخمین ۱۰۰ تا $\pm 50\%$ گزارشات آزمایشگاهی خواهد بود.

$$H = P_{v,A}$$

$$H = \frac{P_{v,A}}{C_{s,A}}$$

$P_{v,A}$: فشار بخار خالص مولفه A در دمای موجود (atm).

$C_{s,A}$: حلالیت محلول مولفه A (mg/L).

تاثیر دما و ویژگی های محلول:

دما، فشار، شدت یونی، سورفکتانت ها، pH محلول (برای گونه های قابل یون شدن مانند NH_3 و CO_2) می تواند بر جذبندگی موازنه بین هوا و آب تاثیر بگذارد.

فشار:

تاثیر فشار کل سیستم بر H ناچیز است چرا که اکثر تجهیزات هوادهی و رهاسازی در فشار اتمسفر بهره برداری می شود.

دما:

در رنج دمایی در تصفیه آب، H با افزایش دما گرایش به افزایش دارد. چرا که حلالیت مولفه به دلیل افزایش فشار بخار آن کاهش می یابد. جدول ۱ نشان می دهد که با افزایش دما، ثابت قانون هنری زیاد تر می شود.

جدول ۱. ارتباط دما و ثابت قانون هنری

	۱۰°C	۱۵°C	۲۰°C	۲۵°C	۳۰°C
Toluene	۰/۰۰۳۸۱	۰/۰۰۴۹۲	۰/۰۰۵۵۵	۰/۰۰۶۴۲	۰/۰۰۸۰۸

تغییر H با دما می تواند با کاربرد معادله van Hoff-type تخمین زده شود:

$$H_2 = H_1 \times \exp \left[\frac{-\Delta H^\circ}{R} \times \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \right]$$

ΔH° : آنتالپی تغییرات ندارد. kcal/kmol

R : ثابت جهانی گاز ۱/۹۸۷ kcal/kmol-K

H_1 : در دمای T_1 (K)

H_2 : ثابت هنری قابل محاسبه در دمای T_2 (K)

در نهایت برای هر گاز مقادیر A و B (جدول ۵-۶) لیست شده اند که می توان H را حساب کرد.

$$H = \exp \left[A - \frac{B}{T} \right]$$

جدول ۲. ثابت قانون هنری در دمای ۲۰ درجه سلسیوس برای چند گاز مهم در آب:

مولفه	$H, (L_{H_2O}/L_{Air})$
آمونیاک	۰/۰۰۰۵۷۴
CO_2	۰/۱۱۴
کلر	۰/۴
دی اکسید کلر	۰/۰۴
هیدروژن سولفید	۰/۳۸۹
متان	۲۸
اکسیژن	۳۲
ازن	۳/۷
رادون	۴
دی اکسید سولفور	۰/۰۲

آمونیاک > > ازن > رادون > CH_4 > O_2

شدت یونی:

در منابع آبی، گازها یا VOCs هایی که در جامدات محلول زیاد هستند، حلالیت بالا (یک ضریب ثابت هنری بالاتر دارند) در مقایسه با جامدات محلول کم دارند.

Salting-out effect که می تواند به صورت ریاضی به عنوان یک افزایش در ضریب فعالیت مولفه A (γ_A) نشان دهد. در محلول آبی با افزایش شدت یونی افزایش خواهد یافت ($\gamma_A > 1$) و لذا H_{app} از H ترمودینامیکی بزرگتر خواهد بود. وقتی بحث شدت یونی مطرح شود، رابطه زیر برای تخمین H می آید.

$$H_{app} = \gamma_A H = \frac{P_A}{[A]}$$

H_{app} : ثابت هنری آشکار.

γ_A : تابع از شدت یونی است و می تواند با رابطه زیر جابجا شود:

$$\log_{10} \gamma_A = K_S \cdot I$$

K_S : ثابت Salting-out با واحد mol/L

I : شدت یونی آب mol/L

برای اکثر منابع آبی، شدت یونی کمتر از ۱۰ mM و ضریب فعالیت برابر ۱ است. افزایش چشم گیر در فراریت و ثابت هنری تنها برای آب هایی با شدت یونی بالا مشاهده می شود (مانند آب شور).

pH:

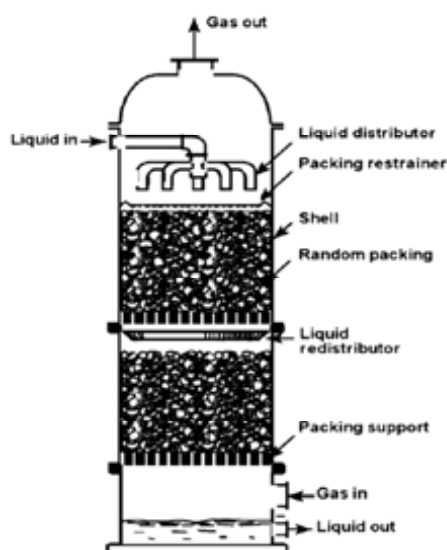
تاثیر روی ضریب هنری ندارد. اما تاثیر بر توزیع گونه ها بین حالت یون شده و یون نشده دارد. تنها گونه های یون نشده، فرار هستند. برای مثال: آمونیاک به عنوان یون آمونیوم در pH طبیعی وجود دارد و غیر قابل رها سازی است. به هر حال در pH های بالا (بالاتر از ۱۰) آمونیاک یونی نیست و ممکن است قابل رهاسازی در هوا باشد.

سورفکتانت:

سورفکتانت ها یا مواد فعال سطحی هم چنین می توانند بر فراریت مولفه ها موثر باشند. اگر سورفکتانت ها حضور داشته باشند، فراریت مولفه ها را با چندین مکانیسم پایین می آورند. مهم ترین فاکتور این است که آن ها گرایش به جمع آوری در میانجی آب-هوا، کسر مول کم شونده از مولفه در سطح میانجی ایجاد می کنند، در نتیجه ثابت قانون هنری آشکار را کم می کند. در فاضلاب های تصفیه نشده، حلالیت اکسیژن می تواند ۳۰ تا ۵۰ درصد به دلیل حضور سورفکتانت کم باشد. تاثیر دیگر برای ترکیبات آلی هیدروفوبیک تلفیق جذب مواد آلی محلول داخل میسل ها (micelle) در محلول می باشد که به ترتیب غلظت ترکیبات آلی در فصل مشترک هوا-آب را کاهش می دهد و فراریت مولفه ها را کم میکند.

برج های آکنده:

کاربردهای اولیه از برج های آکنده در تصفیه آب، افزایش هوای تحت فشار در برج های آکنده است که اشباع کننده در شناورسازی هوای محلول و رها سازی CO_2 ، VOCs ، سولفید هیدروژن و آمونیاک نامیده می شود. مواد پرکننده سطح تماس هوا-آب بزرگتر را فراهم میکند و نتیجه آن افزایش انتقال آلاینده از آب به گاز است. در شکل زیر برج آکنده از نوع جریان متقابل (آب از بالا، گاز از پایین) است.



آب رها شده از ترکیبات فرار از کف برج خارج می شود و هوای حاوی آلاینده ها از بالای برج خارج می شود. مواد پرکننده به صورت تصادفی داخل برج ریخته می شوند. مواد پرکننده از پلاستیک با کشش سطحی 0.33 N/m (0.024 lb/ft) ساخته می شوند. اندازه آن ۲ تا ۳/۵ و گاهی تا ۴/۵ اینچ است. HTU و NTU دو اصطلاح بدون بعد در مباحث طراحی برج های آکنده اند.

جریان جانبی، آبشاری، هم سو از سیستم های دیگر برج های آکنده است ولی جریان هوا برای موثرتر شدن تغییر می کند. در جریان جانبی زاویه جریان هوا نسبت به جریان آب عبوری ۹۰ درجه است. در سیستم های جریان جانبی و آبشاری نرخ جریان هوای بیشتر

در برابر کاهش فشار گاز نسبت به سیستم های جریان مخالف سنتی فراهم می شود. نرخ جریان هوای بیشتر یعنی اعمال نیروی بیشتر برای رهاسازی و در نهایت کارایی حذف بیشتر برای آلاینده های با فراریت کمتر است.

سیستم های جریان جانبی و آبشاری برای سیستم های برج آکنده توصیه شده اند، زمانی لازم است که نسبت های بالای هوا به آب برای حذف مواد شبه فرار و کم فرار از آب باشد. سیستم جریان هم سو هم هوا و هم آب از بالای برج وارد می شوند، از داخل بستر جریان می یابند و از کف برج خارج می شوند. سیستم همسو به ندرت در تصفیه آب برای رها سازی استفاده می شود چون کارایی ندارد.

اخیراً از سیستم های ستون سینی الک (sieve tray) و low-profile برای حذف VOC استفاده می گردد. ستون sieve tray بر اساس فرآیند جریان مخالف یا نام هم سو بهره برداری می شود. ستون ها بلندی کمتر از ۳ متر (۱۰ ft) دارند و داخل آن ها چندین سینی در فواصل مشخص وجود دارد. به طور معمول نرخ های زیادی از جریان هوا به دلیل حباب های کوچک یا کف شکل گرفته استفاده می شود. کف شکل گرفته یک سطح تماس زیاد از هوا به آب را برای انتقال جرم فراهم می کند.

Low-profile: مزیت اصلی این ها نسبت به برج های رها ساز آکنده، کوچکتر و فشرده تر بودن و هم چنین فراهم کردن تعمیر دوره ای راحت تر است.

ایراد: نیاز به جریان هوای زیاد در مقایسه با نوع متداول و هزینه بهره برداری بالا است. به علاوه این نوع رها ساز ها دارای محدودیت نرخ جریان آب اند که باید کمتر از ۱۰۰۰ یا $0.630 \text{ m}^3/\text{s}$ باشد.

طراحی: یک سری فرمول و عبارت طراحی وجود دارد که لازم نیست. در ادامه مواردی که دارای جنبه کنکوری است بیان می گردد.

در برج های هوادهی نسبت هوا به بستر ۳۰ به ۱ است.

تأثیر جامدات محلول بر کارایی برج ها:

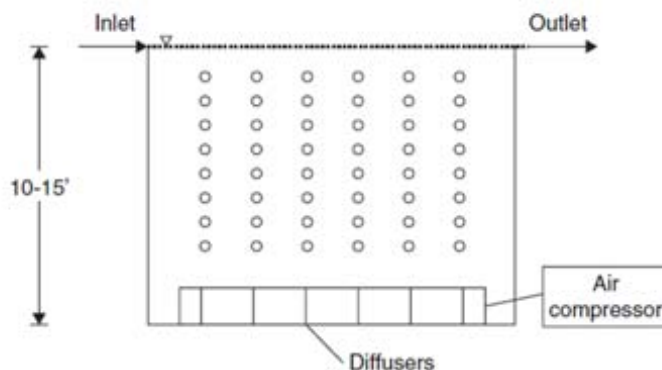
یکی از نگرانی ها در مورد برج های آکنده رها سازی هوا، پتانسیل تشکیل رسوب ترکیبات غیرآلی نظیر کلسیم، آهن و منگنز داخل بستر آکنده است که به دلیل ایجاد کاهش حجم خالی برج و افزایش، کاهش فشار برج می باشد. این مشکل بیشتر برای برخی آب های زیرزمینی، آب های hypolimnetic از دریاچه های لایه بندی شده و منابع آبی حاوی مقادیر قابل ملاحظه از کربن دی اکسید (CO_2) است. برای آب های زیرزمینی با غلظت CO_2 ۵۰-۳۰ میلی گرم غیرمعمول نیست.

تصفیه گاز خروجی از برج آکنده:

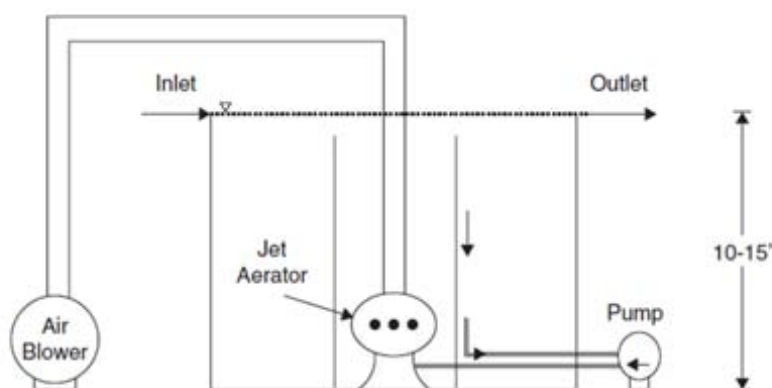
جذب با GAC، سوزاندن حرارتی- سوزاندن کاتالیستی استفاده می شود. وقتی که غلظت VOC بالا باشد از سوزاندن حرارتی و کاتالیستی استفاده می شود. GAC بستر ثابت به دلیل موثر از نظر هزینه و کارایی خوب برای انواع معمول VOCs نظیر تری کلرواتان، تتراکلرواتان، تولوئن، ایزومرها، زایلن، و غیره بیشترین استفاده را دارد.

هوادهی حبابی یا انتشاری:

این فرآیند شامل حباب های گاز با آب برای انتقال گاز به آب است. (گاز مثل O_2 ، O_3 یا CO_2) یا حذف VOCs از آب با رهاسازی است.



(a) Bubble type



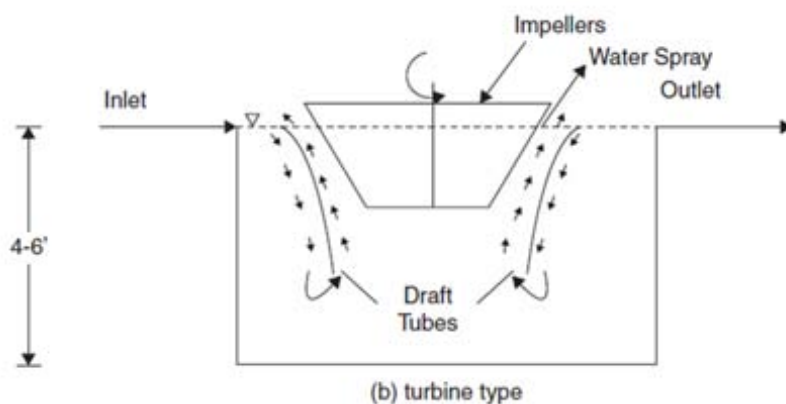
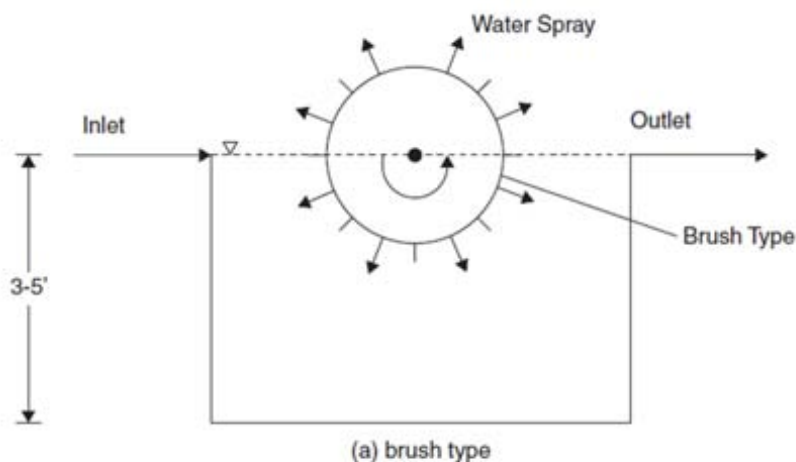
(b) diffused jet aeration

وظیفه JetAerator: افزایش اختلاط و کارایی جذب است.

هوادهی سطحی:

هوادهی سطحی در ابتدا برای حذف اکسیژن و رهاسازی گازها و آلاینده های فرار زمانی که کارایی حذف لازم جهت کنترل کمتر ۹۰ درصد باشد، استفاده می شد. هوادهی سطحی شامل ۱-Brush و ۲-turbine است. مانند شکل زیر چندین Brush به یک صفحه چرخنده متصل است که نصف این تجهیزات در آب است و با چرخش صفحه، آب

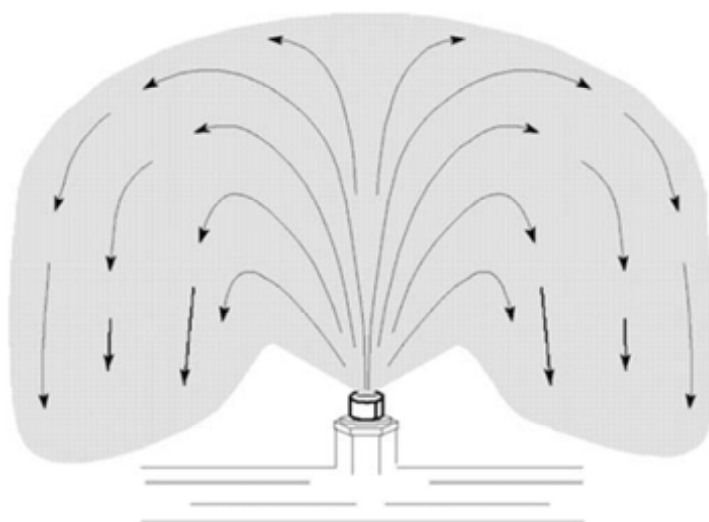
و هوا باهم مخلوط می شوند. نوع ۲ یک پروانه فرو رفته در آب در مرکز تانک قرار دارد. این ۲ سیستم به طور وسیع برای فاضلاب استفاده می گردد.



هوادهی اسپری:

چندین سال است که از این سیستم برای تصفیه آب برای اکسیژنه کردن آب زیرزمینی برای حذف آهن و منگنز و رهاسازی گازها نظیر CO_2 ، H_2S و VOC استفاده می شود. اکسیداسیون موثر آهن با هوادهی معمولاً نزدیک به ۱ ساعت زمان ماند بعد از هوادهی لازم است. حذف منگنز با هوادهی آهسته و غیر قابل کاربرد برای آب هایی با pH زیر ۹/۵ است. حذف منگنز معمولاً به یک اکسید کننده قوی نیاز دارد. CO_2 و H_2S در

رنج ۵۰ تا ۹۰ درصد وابسته به pH آب حذف می شوند. VOCها هم تا بالای ۹۰ درصد بسته به ثابت قانون هنری حذف می شوند.



اسپری ها می توانند روی سطح آب یا داخل برج ها باشند. تحت فشار قرار گرفتن نازل ها قطرات ریز آب در هوا را پخش می کنند و یک سطح بزرگ هوا - آب برای انتقال جرم ایجاد می کنند.

۲ نوع از نازل های اسپری تحت فشار عمده کاربرد دارند:

۱- پوک، (تهی) (Hollowcone).

۲- مخروط کامل (fullcone).

به طور کلی نوع ۱ به دلیل امکان ایجاد قطره های کوچکتر و انتقال جرم بیشتر به نوع ۲ ترجیح دارد.

فصل دوم

اکسیداسیون شیمیایی:

اکسیدان های شیمیایی در موارد زیر مورد استفاده قرار می گیرند:

- برای کاهش گونه های غیر آلی نظیر آهن، منگنز، سولفید (II-S).

- اکسیداسیون ترکیبات آلی سنتتیک خطرناک مانند تری کلرواتان، آترازین، MTBE، PPCP_s، EDC و سموم جلبکی.

- گاهی مواقع اکسیدان ها عوامل ایجاد بو و طعم را تخریب می کنند.

- کاهش مقدار ماده مورد نظر برای انعقاد.

اکسیدان ها اکثرا در بخش انتهای تصفیه خانه، پیش از تانک اختلاط سریع یا در تانک اختلاط سریع اضافه می شوند. آنها هم چنین می توانند بعد از زلال سازی، قبل از فیلتراسیون بکار برده شوند. متداول ترین اکسیدان های مورد استفاده در تصفیه آب کلر، ازن، دی اکسید کلر و پرمنگنات می باشد. ازن گاها همراه با H_2O_2 یا UV به آب تزریق می شود که AOP نامیده می شود برای تولید OH° که ویژگی قوی اکسیداسیون دارد.

کلر آزاد به طور متداول برای گندزایی استفاده می شود ولی نگرانی ایجاد محصولات جانبی خطرناک هالوژنه وجود دارد که این امر به دلیل واکنش کلر آزاد با NOM (با حضور بروماید تشدید می شود) می باشد. به همین علت کاربرد مواد جایگزین برای کاهش تولید DBP هالوژنه مهم است.

بررسی ترمودینامیک:

کینتیک شیمیایی، سرعت واکنش و مسیر های واکنش و یا مکانیسم های وقوع واکنش را شرح می دهد.