طراحی و ساخت برج های گاززدائی از آب (دی گازاتور)

تهیه و تنظیم: شرکت تجهیزآب جم (سهامی خاص)
(طراحی و ساخت تجهیزات آب و فاضلاب)
E-mail:Info@Tajhizabjam.Com

۱- مقدمه

یکی از عوامل بسیار مهم در صنعت تصفیه و پالایش آب وجود مشکلات بو و طعم ناشی از آب است که معمولاً تأمین کنندگان و متولیان امور آب با معضلات و چالش های ناشی از آن از قبیل اعتراض مردم و شکایات مصرف کنندگان دست به گریبانند. این شکایت ها بویژه زمانی که منبع تأمین آب، منابع آبهای سطحی و ذخایر پشت سدها باشد، بسیار زیاد است. زیرا آبهای سطحی به میزان بیشتری از میکروارگانیسم ها، بقایای ترکیبات آلی و فاضلاب کارخانجات تأثیر می پذیرند و در معرض تماس عوامل جوی و آلاینده ها هستند.

مهمترین علت طعم و بوی منابع آب، جلبکها و اکتینومیست هاست و گاه در نتیجه وجود سولفید هیدروژن، رواناب کشاورزی، تخلیه مواد شیمیایی صنعتی، تخلیه غیرقانونی مواد شیمیایی و آلودگی ناشی از تخلیه فاضلاب است. اما همانطور که اشاره گردید اغلب عامل طبیعی تولید مشکلات بو در آب مربوط به جلبکها و باکتریهای رشته ای است. از بین عوامل مولد بوی نامطبوع در آب، ژئوسمین و ۲- متیل ایزوبورنوئل (MIB) از مهمترین عوامل ایجاد بوی نامطبوع حتی در غلظت های بسیار پائین در حد ۰/۰۱ $\mu g/L$ یا ۱۰ng/L هستند. در حالت کلی کنترل طعم و بو و مشکلات ناسی از آن در صورت عدم کنترل در مبدأ می تواند توسعه یابد و در صورت گسترش، حذف آن مشکل است. شاید اکثر ترکیبات مولد طعم و بو برای سلامت انسان ضرر نداشته باشد، اما برخی از افراد بسیار حساس اند. در حالت کلی طعم و بو برای مصرف کننده ناخوشایند است.

۲- روش های کنترل و حذف ترکیبات مولد طعم و بو

ابزار کنترل طعم و بوی آب شرب به ترتیب اولویت شامل موارد زیر است[۱،۲و۳]؛

الف) کنترل در منبع؛

ب) حذف در تصفیه خانه؛

ج) کنترل در شبکه توزیع.

روشهای کنترل در منبع شامل اختلاط در مخزن، کنترل گیاهان آبزی، مدیریت منابع آبهای زیرزمینی و مدیریت مخازن می باشد. مهمترین روشهای حذف در تصفیه خانه نیز شامل هوادهی، اکسیداسیون و جذب سطحی با کربن فعال گرانولی یا پودری است. کنترل در سیستم توزیع نیز می تواند با حفظ کلر باقیمانده در شبکه و تعبیه دریچه های تخلیه در نقاط حساس شبکه میسر گردد.

با توجه به اینکه کنترل در منبع بسیار پرهزینه، وقت گیر، کنترل نشده و در برخی شرایط امکان ناپذیر است، بنابراین روش حذف در تصفیه خانه با روشی ارزان، کارآمد، قابل کنترل و در عین حال اجرایی می تواند بسیار سودمند باشد. از بین روش های ارایه شده، هوادهی دارای خصوصیات فوق الذکر می باشد، لذا در ادامه به تشریح کاربرد سیستم حذف گازها و عوامل تولید طعم و بو در آب (دی گازاتور) خواهیم پرداخت.

۳- تئوری حذف فیزیکی گازها

عدهٔ زیادی از میکروارگانیسم ها و عمدتاً باکتریها در تغییر و تبدیل ترکیبات آلی پیچیدهٔ با وزن مولکولی بالا در فاز مائی به گازهای شاخص از قبیل؛ متان، دی اکسیدکربن، هیدروژن، آمونیاک و سولفید هیدروژن دخالت دارند. واکنش کلی به صورت زیر است:

مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی ← $CH_4 + CO_2 + H_2 + NH_3 + H_2S$

گازها را می توان هم به روش شیمیایی و هم به روش فیزیکی (مکانیکی) از آب حذف کرد. به طور کلی هر چه حجم آب تصفیه شده و نیز غلظت گاز ناخالص بیشتر باشد، توجیه اقتصادی بهتری در استفاده از روش فیزیکی برای حذف گازها است.

در تمام روش های فیزیکی حذف گازها، قانون هنری صادق است ($P_A=H.X_A$) که P فشار جزیی گاز A و X_A جزء مولی گاز حل شده در آب است. بنابراین برای کاهش مقدار گاز محلول در آب باید فشار جزیی گاز را کاهش داد و این کار ممکن است هم با افزایش دمای آب و در نتیجه افزایش فشار بخار آب انجام شود و هم ممکن است با وارد کردن گاز ثالثی مانند هوا غلظت گاز ناخالص مورد نظر را کاهش داد تا فشار جزیی آن کاهش یابد. روش های معمول برای حذف فیزیکی گازها عبارتند از؛ هوادهی[1]، هوازدای سرد[2] و هوازدای گرم[3].

در تصفیه آب های صنعتی هوادهی در دستگاهی انجام می شود که به آن دی گازاتور می گویند، در حالی که در تصفیه آب های شهری و یا فاضلاب ها، همان واحد به هوادهی مشهور است. اما در هر حال این دو در واقع از یک مکانیسم با یک عملکرد مشابه تبعیت می کنند.

۴- کاربرد هوادهی در حذف گازها

الف) حذف طعم و بو

در واقع هوادهی تأثیر چندانی بر حذف طعم و بو ندارد، اما در آزادسازی محصولات آنها که گازهای ناشی از تجزیه است تأثیر کارآمد خواهد داشت. بیشتر ترکیبات مولد طعم و بو حلالیت بالایی در آب دارند، بنابراین بجز در چند مورد، معمولاً هوادهی در حذف طعم و بو نسبت به روش های دیگری مانند اکسیداسیون شیمیایی یا جذب سطحی تأثیر کمتری دارد.

ب) حذف آهن و منگنز

حذف آهن و منگنز معمولاً با اکسید کردن این یون ها به اکسیدهای نامحلول صورت می گیرد. کاربرد هوادهی در این فرآیند با هدف تأمین اکسیژن کافی برای انجام واکنش اکسیداسیون است. این فرآیند اغلب برای آب های زیر زمینی که اکسیژن محلول در آنها کم است، به کار می رود. بنابراین هوادهی آب های زیرزمینی باعث اکسید کردن آنها منگنز و رسوب دادن آن ها و همچنین افزایش اکسیژن محلول آب می شود. منگنز معمولاً در مقادیر pH خنثی نمی تواند به سرعت اکسید شود. افزایش pH تا ۸/۵ به ویژه اگر از هواده های برجی آکنده با بستر کک استفاده شود، اکسیداسیون منگنز را بهبود خواهد بخشید.

---

[1] . *Aeration*

[2] . *Cold Deaerator*

[3] . *Hot Deaerator*

ج) حذف ترکیبات آلی فرار

اصلاحیهٔ سال ۱۹۸۶ قانون آب آشامیدنی سالم، محدودیت های جدیدی را برای مواد آلی که با نام ترکیبات آلی فرار (VOC) شناخته می شوند، وضع کرد. اغلب این مواد شیمیایی می توانند به راحتی به وسیلهٔ هوادهی حذف شوند. در طراحی واحدهای هوادهی برای حذف VOC_S باید به هوای خروجی توجه ویژه ای داشت، زیرا بعضی از این ترکیبات تابع محدودیت های حداکثر غلظت هوای آزاد هستند.

د) حذف دی اکسید کربن

دی اکسید کربن می تواند به آسانی توسط هوادهی حذف شود. این گاز حلالیت کمی در آب دارد، بنابراین هوادهی در حذف آن بسیار مؤثر است. این فرآیند اغلب پیش از نرم کردن آب زیرزمینی به کار می رود، زیرا معمولاً غلظت دی اکسید کربن در آب زیرزمینی بالا است. چون غلظت بالای دی اکسید کربن مقدار مواد شیمیایی مورد نیاز برای سختی گیری را افزایش می دهد، بنابراین حذف آن پیش از عملیات نرم کردن آب بسیار سودمند است.

ه) حذف سولفید هیدروژن

سولفید هیدروژن یک ترکیب مهم مولد طعم و بو در آب است که می تواند به طور مؤثری توسط هوادهی حذف شود. مکانیسم اصلی تصفیه در این حالت، اکسیداسیون سولفید هیدروژن است که سبب تولید سولفور عنصری در آب می شود. در برخی موارد، سولفور آزاد حاصله می تواند با سایر فرآیندهای تصفیه تداخل یابد. در آب های دارای غلظت بالای دی اکسیدکربن، هوادهی اولیه برای حذف این گاز سبب حذف مؤثرتر سولفید هیدروژن می شود. در این فرآیند شرایط برای حذف سولفید هیدروژن مساعدتر است.

حذف سولفید هیدروژن به علت مشخصات منحصر به فرد آن، جدا از حذف سایر ترکیبات منشأ بو است. در شرایط طبیعی، سولفور موجود در آب های طبیعی به پنج شکل پایدار یافت می شود که این اشکال شامل HSO^-_4، SO^{2-}_4، S^0، H_2S و HS^- می باشند. نمونه های دیگر مثل تیوسولفات، پلی سولفید و پلی تیونات نیز در آب طبیعی وجود دارند. اما، این مواد از لحاظ ترمودینامیکی پایدار نیستند و روابط زیر بین نمونه های سولفور وجود دارد. در آب با pH برابر ۸ و یا کمتر دامنهٔ طبیعی pH آب طبیعی، H_2S و HS^- از اشکال مهم سولفور هستند. در pH ۷، حدود ۸۰ درصد از سولفور به شکل سولفید هیدروژن و در pH ۶ حدود ۱۰۰ درصد است. اما، در pH ۸ و بالاتر، سولفور احیا شده به شکل S^- و SO^{2-}_4 موجود است و مقدار H_2S آزاد خیلی کم است. هوادهی روشی بسیار معمول برای حذف سولفید هیدروژن از آب است. البته جذب با کربن فعال نیز مؤثر است، ولی هزینهٔ آن بسیار بالاست.

باید قبل از هوادهی، pH آب کمتر از ۷ (بهتر است روی ۶) تنظیم شود. در pH مناسب، با هوادهی می توان CO_2 و سایر مواد آلی فرار را آزاد کرد.

$$H_2S+½O_2 \rightarrow H_2O+S_0$$

۵–انواع روش های هوادهی در حذف گازها

معمولاً از چهار روش شاخص هوادهی در حذف و جداسازی گازهـای نـامطلوب در تـصفیه آب اسـتفاده می شود. این روش ها عبارتند از:

۱) هوادهی ثقلی[1]، ۲) هوادهی افشانی[2]، ۳) هوادهی دیفیـوزری[3] و ۴) هـوادهی مکـانیکی[4] [۱و۸]. ملاحظـهٔ اصلی طراحی برای همهٔ هواده ها، فراهم آوردن حداکثر تماس بین آب و هوا با حداقل مصرف انرژی است.

۱) هوادهی ثقلی

در هوادهی ثقلی از سرریز، آبشار، پله، صفحات صاف شیب دار، برج های عمودی با جریان رو به بـالای هوا، برج های سینی سوراخ دار یا برج های آکندهٔ پر شده با بسترهایی مثل کک یا سنگ استفاده می شود. انواع مختلف هواده های ثقلی در شکل ۱– الف نشان داده شده اند.

۲) هوادهی افشانی

هواده های افشانی قطرات آب را از منافذ نـازل هـای ثابـت یـا متحـرک بـه داخـل هـوا مـی پاشـند. آب به طور عمودی یا زاویه دار به طرف بالا حرکت کرده و دوباره به درون یک ظرف، بستر تماس یا حوضـچهٔ جمع آورنده می ریزد. هواده های افشانی به عنوان آب نماهـای دکـوری نیـز اسـتفاده مـی شـوند. بـرای تولیـد افشانه ای که آب را به قطرات ریز تبدیل کند، به مقدار زیـادی انـرژی نیـاز بـوده و آب بایـد عـاری از جامـدات درشت باشد. تلفات ناشی از جریان باد و انجماد در آب و هوای سرد، می تواند مشکلات فراوانی به همراه داشـته باشند. برای هواده های فواره ای یا افشانی، توان مورد نیاز دمنده ها حدود ۱ kw به ازای هر یک میلیـون گـالن آب تصفیه شده (۱ kw به ازای هر ۳۷۸۵ m^3/d) می باشد. یک هواده افشانی متـداول در شـکل ۱– ب نـشان داده شده است.

۳) هوادهی دیفیوزی

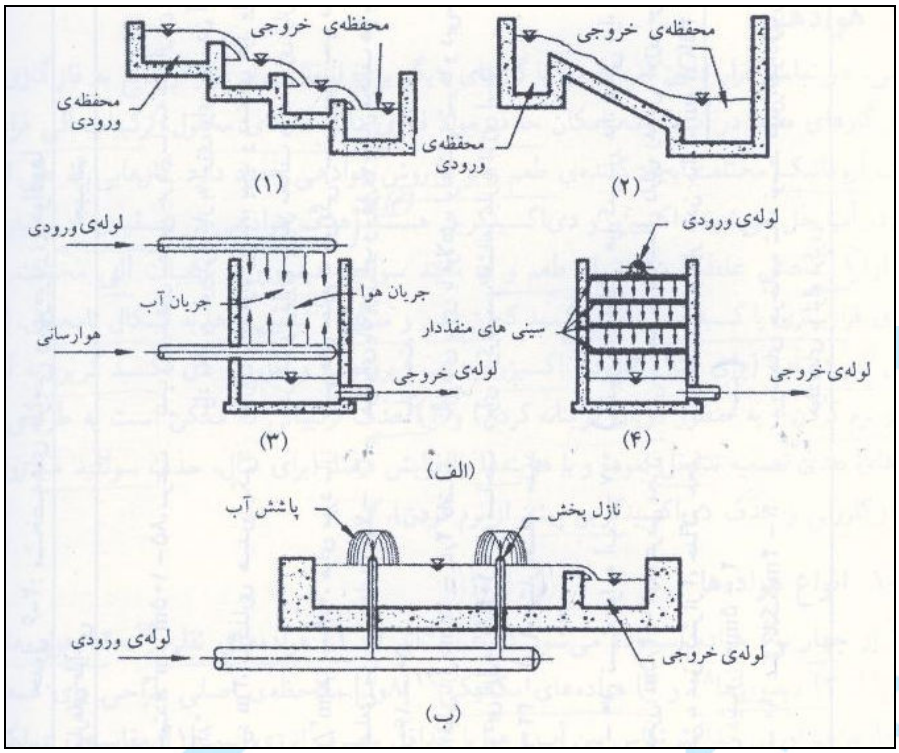
در این نوع هوادهی، آب در مخازن بزرگـی هـوادهی مـی شـود. هـوای فـشرده از طریـق صـفحات و لوله های متخلخل به درون مخزن تزریق می شود. حبابهای هوای در حال صعود سـبب ایجـاد تلاطـم شـده و فرصت کافی برای مبادلهٔ مواد فرار بین حباب های هوا و آب فراهم می آید. زمان هوادهی بین ۱۰ تا ۳۰ دقیقـه متغیر است. میزان هوادهی معمولاً بین ۰/۱–۱ m^3 در دقیقه به ازای هر مترمکعب حجم مخزن است.

۴) هوادهی مکانیکی

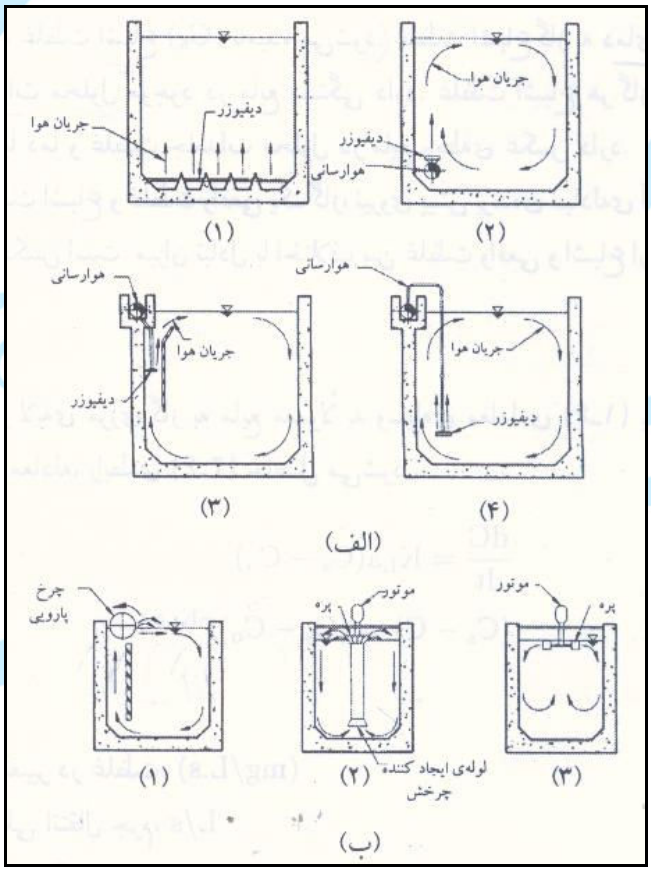
در هوادهی به روش مکانیکی از پروانه هایی که به وسیله موتور چرخانده می شوند، یا ترکیبی از پروانـه و وسایل تزریق هوا استفاده می شـود. وسـایل متـداول مـورد اسـتفاده پاروهـای مـستغرق، پاروهـای سـطحی، تیغه های پروانه ای، هواده های توربینی و هواده های با لولهٔ مرکزی هستند. هـوادهی مـی توانـد در مخـزن و بوسیلهٔ هواده های توربینی یا لوله های مرکزی جریان هوا نیز انجام شود. این کار، اولین مرحلهٔ تـصفیهٔ مخـازن بزرگ دارای آب راکد یا پوشیده شده با یخ در ماه های زمستان است. این سیستم ها، برای بالا آوردن آب گرمتر از پایین در زمستان و جلوگیری از یخ زدن سطح مخزن نیز استفاده می شوند. شکل شماره ۲ انواع هـواده هـای دیفیوزری و مکانیکی را نشان می دهد.

---

[1] . *Gravity Aerators*
[2] . *Spray Aerators*
[3] . *Diffusers*
[4] . *Mechanical Aerators*



شکل شماره ۱- انواع مختلف هواده های ثقلی و افشانی؛ الف) هواده های ثقلی: ۱- پله ای، ۲- صفحات شیبدار گاهی بصورت موجدار، ۳- برجی با جریان مخالف آب و هوا، ۴- سینی های منفذدار، محتوی بستر تماس (مدیا). **ب) هواده افشانی.**



شکل شماره ۲- انواع هواده های دیفیوزری و مکانیکی؛

الف) کانال های هوادهی دیفیوزری: ۱- شیاری، ۲- جریان مارپیچی به همراه دیفیوزرهای نصب شده در کف، ۳- جریان مارپیچی به همراه راه بند و دیفیوزر کم عمق، ۴- دیفیوزر متحرک **ب) واحدهای هوادهی مکانیکی:** ۱- هواده سطحی، ۲- نوع توربینی با لوله مرکزی، ۳- هواده توربینی.

در جدول شماره ۱ پارامترهای طراحی و تجهیزات مورد نیاز در روش های مختلف هوادهی ارائه گردیده است.

جدول شماره ۱- پارامترهای طراحی و تجهیزات مورد نیاز در روش های مختلف هوادهی

ردیف	روش هوادهی	راندمان حذف	معیارهای طراحی	تجهیزات
۱	هوادهی آبشاری	٪۲۰-۴۵ CO_2	ارتفاع: ۱-۳ m، مساحت: ۸۵ -۱۰۵ $m^2/m^3.s$، سرعت تقریبی جریان: ۰/۳m/s	پمپ و راه بندهای سطحی جریان ساخته شده از بتن یا دیگر مواد مقام به خوردگی، نیاز به انرژی برای بالا بردن آب.
۲	برج آکنده (مدیا)	> ٪۹۵ VOC_S > ٪۹۰ CO_2	حداکثر قطر ستون: ۳ m، بارگذاری هیدرولیکی: ۲۰۰۰ $m^3/m^2.d$	سازهٔ برج، مواد پرکننده (مدیا)، پمپ و دمنده های هوا. برای بالا بردن آب و برقراری جریان مخالف هوا به انرژی نیاز است.
۳	سینی منفذدار	> ٪۹۰ CO_2	بارگذاری هیدرولیکی: ۰/۸ -۱/۵ $m^3/m^2.d$، هوای مورد نیاز: آب m^3/m^3 ۷/۵، فاصلهٔ بین سینی ها: ۳۰-۷۵cm، مساحت: ۵۰-۱۶۰ $m^2/m^3.s$	سینی های مقام به خوردگی، بستر سینی، پمپ دمندهٔ هوا، برای بالا بردن آب و برقراری جریان مخالف هوا به انرژی نیاز است.
۴	هوادهی افشانی	٪۷۰-۹۰CO_2 ٪۲۵-۴۰ H_2S	ارتفاع:m ۹- ۱/۲، قطر نازل: ۲/۵ -۴cm فاصلهٔ نازل ها: ۰/۶-۳/۶ m، دبی نازل ها: ۵-۱۰ l/s، مساحت حوضچه: ۱۰۵-۳۲۰ $m^2/m^3.s$، فشار افشانه: ۷۰ kpa	نازل های برنزی یا فولادی، لوله کشی، شیرها و دبی سنجها. برای کارکرد پمپ افشانه، نیاز به انرژی است.
۵	هوادهی دیفیوزری	٪۸۰ VOC_S	زمان ماند: ۱۰-۳۰min، نسبت هوا به آب: ۰/۷ -۱/۱ m^3/m^3، عمق مخزن: ۲/۷-۴/۵ m، عرض مخزن:m ۳-۹، نسبت عرض به عمق: کمتر از ۲، حداکثر حجم: ۱۵۰ m^3، قطر روزنهٔ دیفیوزر: ۲-۵ mm	دیفیوزرها، لوله کشی هوا، کمپرسور هوا، صافی هوا، شیرها، دبی سنج ها، حوضچه های دارای زهکش. انرژی مورد نیاز برای تحت فشار قرار دادن هوا ۱۱-۴۵ $kW/m^3.s$ است.
۶	هوادهی مکانیکی	٪۵۰ -۸۰CO_2	زمان ماند: ۱۰-۳۰ min، عمق تانک: ۲-۴ m	پروانه های گرداننده توسط موتور، هواده توربینی، هواده های با لوله مرکزی.

۶-دی گازاتور طراحی شده توسط شرکت تجهیز آب جم

کار اصلی دی گازاتور کاهش دی اکسید کربن و سولفید هیدروژن است و به صورت برجی است که از بالای آن آب به طرف پایین جریان دارد، در حالی که از پایین آن هوا دمیده می شود. همان طور که می دانید در داخل دی گازاتور هرچه هوا با آب در تماس بیشتری قرار بگیرد راندمان جداسازی مطلوب تر است چون در شرایط ایده آل و تعادلی، غلظت گازها در آب متناسب با فشار جزیی آن در هوا می شود که بسیار کم است. برای ایجاد این تماس بیشتر در داخل برج تمهیداتی اندیشیده شده است.

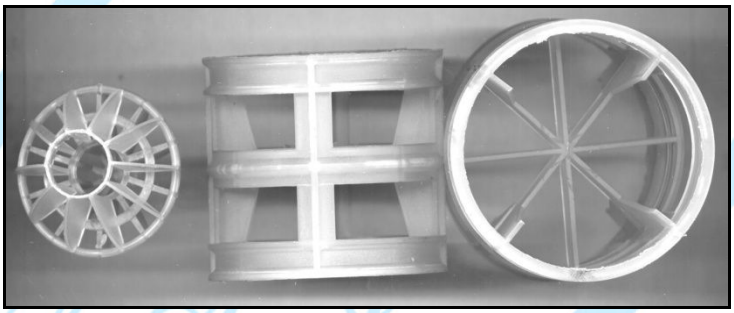
در این طرح ابتدا آب ورودی در بالای برج از داخل نازل یا افشانک هایی عبور می کند تا به صورت قطرات ریز و اصطلاحاً اسپری درآید تا دارای سطح تماس بیشتری با هوا باشد، سپس در داخل برج سینی های منفذداری تعبیه می کنند (برج های سینی دار) و با ذرات پلاستیکی یا سرامیکی دارای سطح تماس مؤثر زیاد

موسوم به آکنه[1] (مواد پرکننده یا مدیا) قرار می دهند، تا هوا و آب هرچه بیشتر با هم در تماس باشند. توجه داشته باشید که برای انتقال گازهای ناخالص از فاز آب به فاز هوا مقاومت هایی وجود دارد. هرچه این مقاومت ها بیشتر باشد به زمان تماس بیشتری برای حذف گازهای ناخالص از آب نیاز است. زمان تماس بیشتر به مفهوم ارتفاع زیادتر برای برج دی گازاتور است. ذرات آکنه با داشتن سطح ویژه زیاد (مترمربع سطح تماس مؤثر به ازاء واحد حجم) کمک می کنند که از ارتفاع برج برای جداسازی گاز از آب استفاده مؤثرتری شود و در عین حال باعث افت فشار زیاد نشوند که مکنده هوا دی گازاتور با مشکل روبرو شود.

مهمترین موارد و مشخصات فنی در انتخاب مدیاهای پرکننده شامل؛ جنس بستر، شکل هندسی، ابعاد و دانسیته بستر، مساحت سطح ویژه و هزینه تهیه یا تولید آنها می باشد. در هرحال معمول ترین ماده ای که امروزه برای ساخت بسترهای پلاستیکی استفاده می شود، ترکیبات پلی اتیلن (PE)[2] یا پلی پروپیلن (PP)[3] می باشد که وزن مخصوص آنها در محدوده ۸۲-۵۴ و بطور متوسط ۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. این مواد مقاوم به حرارت و خوردگی بوده و آنتی باکتریال می باشند تا رشد باکتری های متصل میسر نگردد.

اگر بستری از جنس مناسب با یک سطح تماس ویژه داخلی خوب طراحی شود، بطور چشمگیر باعث افزایش و بالارفتن راندمان حذف آلاینده ها می گردد.

شکل شماره ۳ چند نوع مدیا را که برای پر کردن برج های دی گازاتور در این طرح استفاده می شود، نشان می دهد. همچنین در جدول شماره ۲ مشخصات فنی این مدیاها ارائه گردیده است.



شکل شماره ۳- نمونه ای از مدیای مورد استفاده در برج های دی گازاتور

جدول شماره ۲- مشخصات فنی مدیای مورد استفاده در برج های دی گازاتور

Model (mm)	D×H× δ (mm)	Specific surface (area m^2/m^3)	Void volume (m^3/m^3)	Bulk number (n/m^3)	Packing Density (kg/m^3)	F factor (m^{-1})
D25	25×25×1.2	175	0.90	53500	82	239
D50	50×50×1.5	93	0.90	6500	56	127
D38	38×38×1.4	115	0.89	15800	54	220

معمولاً یک دی گازاتور در شرایط ایده آل کارکرد می تواند غلظت دی اکسید کربن آزاد را تا ۵ ppm کاهش دهد. ولی در عمل غلظت دی اکسید کربن در آب خروجی از دی گازاتور بیش از مقدار ذکر شده است. کاهش بیشتر مستلزم انتخاب دی گازاتور مرتفع تر است. با دی گازاتور نه فقط غلظت دی اکسید کربن آزاد

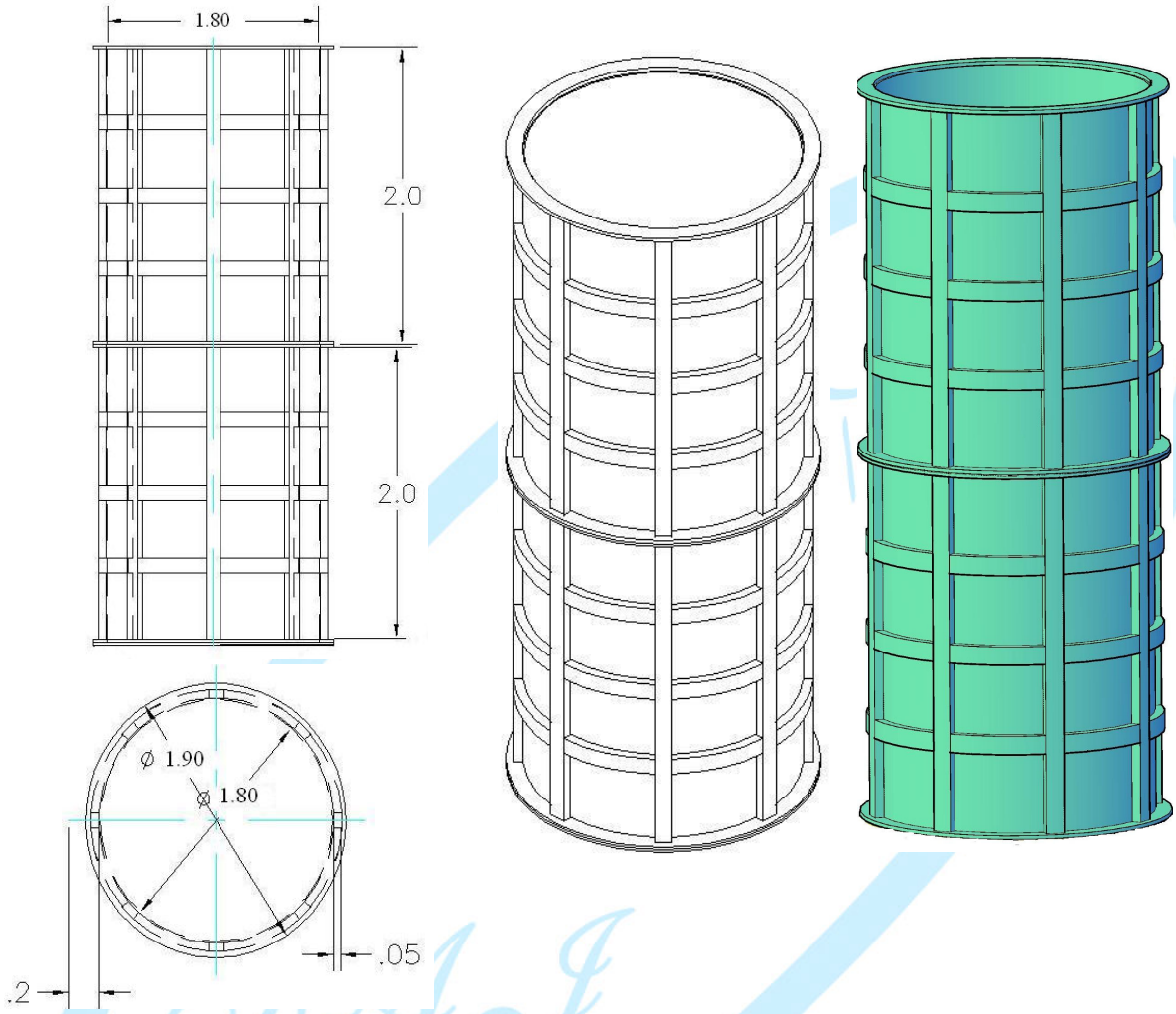
[1]. *Plastic Tower Packing*
[2]. *Polyethylene*
[3]. *Polypropylene*

بلکه همه گازهای ناخالص آب به جزء اکسیژن هم کاهش می یابد. علیرغم آنکه در دی گازاتورها اکسیژن آب افزایش می یابد، ولیکن بخاطر هزینه کم روزانه و نیز سادگی ساختمان و راحتی کار آنها در بسیاری از صنایع تصفیه آب به کار می روند. در مناطق کویری و بادخیز، هوا معمولاً آلوده به گرد و خاک است از این رو لازم است که در مکش کمپرسور هوا، فیلتر قرار داده شود که در هر فاصله زمانی کوتاه تمیز شود تا هوای آلوده باعث کاهش کیفیت آب خروجی از دی گازاتور نشود.

جنس بدنه دی گازاتورها باید بگونه ای باشد تا در برابر ترکیبات حاصل از مواد شیمیایی از قبیل خوردگی ناشی از H_2S و CO_2 و میکروارگانیسم های فلزدوست مقاوم باشد. بدین دلیل جنس بدنه دی گازاتور طراحی شده توسط این شرکت از جنس بسیار مقاوم کامپوزیت انتخاب شده است. بدلیل وزن پایین این سیستم در مقایسه با سایر مواد، امکان جابجایی و حمل و نقل راحت تر و در عین حال سریعتر آنها نیز میسر است.

عدم وجود مشکل زنگ زدگی و خوردگی شیمیایی و میکروبی بدلیل استفاده از ترکیبات کامپوزیت در مقایسه با مصالح فلزی و بتنی و در نتیجه کاهش هزینه های تعمیر تأسیسات و تجهیزات، تعویض قطعات و ... و در نهایت کاهش هزینه های راهبری، بهره برداری و نگهداری در این طرح از مشخصه های بارز سیستم می باشد. بدلیل اینکه جنس بدنه از کامپوزیت تقویت شده می باشد، علاوه بر استحکام بالا در برابر ضربه و تنش، ضریب انتقال حرارتی نیز بسیار پائین بوده و در فصول سرد سال کاهش درجه حرارت محیط اطراف تأثیرات چشمگیر و قابل ملاحظه ای را در عملکرد و راندمان تصفیه نخواهد داشت، بنابراین در مناطق سردسیر کشور با شرایط آب و هوایی سرد و خشک و برودت پایین نیز کاربرد دارد.

در شکل شماره ۴ شمایی از بدنه برج های دی گازاتور از جنس کامپوزیت تقویت شده نشان داده شده است.



شکل شماره ۴- شمایی از بدنه برج های دی گازاتور از جنس کامپوزیت تقویت شده

منابع و مآخذ:

1 – Qasim, S. R., Motley, E. M., and Zhu, G. ***"Waterworks Engineering; Planning, Design and Operation"***, Published by; Prentice-Hall Inc., USA.2003.

۲- نویسنده: سوسومو کاوامورا ، ترجمه: دکتر علی ترابیان و همکـاران. **" طراحی و راهبری جامع تأسیسات تصفیه آب "**. انتـشارات دانشگاه تهران. چاپ اول. تهران. سال ۱۳۸۶.

۳- محمد چالکش امیری.**"اصول تصفیه آب"**. انتشارات ارکان. چاپ دوم. تهران. سال ۱۳۷۸.

۴- دستورالعمل ها، کاتالوگ ها، گزارش های فنی و مقالات تهیه شده توسط **" شـرکت تجهیـزآب جـم (سـهامی خـاص)"**. تهـران. ۱۳۸۷.

5 – Montgomery, J. M. ***"Water Treatment; Principles and Design"***. 2th Edition. Published by; MWH, John willey & Sons, USA.2005.

6 – Sawyer C. N., McCarty P. L. and Parkin G. F.***"Chemistry for Environmental Engineering"***, 4th edition. McGraw-Hill. 1994.

7 – Degremont, J. ***"Water Treatment Handbook"***. 6th Edition. Published by; Lavoisier Publishing, France. Volumes: 1&2.1991.

8 – E.W, Steel. T.J, McGhee. ***"Water Supply and Sewerage"***, Sixth Edition. Published by; McGraw-Hill.1991.

9 – Frank R. Spellman***."Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations"***, Published by; Lewis Publishers.2003.

10 – Metcalf & Eddy. ***"Wastewater Engineering Treatment and Reuse"***, Fourth Edition, Published by; McGraw-Hill. International Edition: 2004.