حذف یون های آهن و منگنز از آب توسط برج های هوادهی و سینی های منفذدار

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

۱– مقدمه

یکی از مشکلات بسیار مهم در صنعت تصفیه و پالایش آب وجود دغدغه و نگرانی های ناشی از حضور برخی ترکیبات مزاحم از جمله آهن و منگنز در 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.

آهن و منگنز جزو آن دسته از مواد معدنی هستند که در حالت طبیعی در خاک وجود دارند و به صورت اکسیدهای فلزی هستند که به آنها اکسیدهای غیر محلول فریک و اکسید منگنز (بسیار نامحلول) گفته می شود، اما، وقتی آب دارای دی اکسید کربن یا به شکل اسیدی باشد، در شرایط بی هوازی، آهن فریک به فرو احیا می شود و این یون در آب محلول است. در شرایط یکسان، منگنز به شکل دی اکسید چهار ظرفیتی به دو ظرفیتی احیاء می شود و در آب نیز محلول است و بیشتر در آبهای زیرزمینی بصورت محلول یافت می شوند. بنابراین، مقدار زیادی آهن و منگنز در آب چاه های عمیق و چرخش آب در مخزن ها و منابع ذخیره یافت می شود. آهن دو ظرفیتی (فرو Fe^{+2}) و منگنز دو ظرفیتی (منگانوز Mn^{+2}) به چند دلیل باعث شکایت مصرف کنندگان می شوند. آبی که بیش از ۰/۳ mg/l آهن داشته باشد بر روی اکثر اجسام، ظروف چینی، کاغذ و مقوا و لباس ها ایجاد لکه زرد متمایل به قرمز قهوه ای می نماید. آبهای حاوی ۱ میلیگرم در لیتر آهن یا بیشتر ظاهر ناخوشایند فلزی یا مزه داروئی داشته و کدر می شوند. آهن بر روی سطح داخلی لوله ها، توری ها و شیرهای چاه نیز ته نشین می گردد. لذا در آب های آهن دار، رشد باکتری های آهن ممکن است باعث گرفتگی لوله ها شود. وجود منگنز نیز در آب در غلظت های بالاتر از حد استاندارد، باعث ایجاد لکه، طعم بد و رشد میکروارگانیسم ها می شود. همچنین سمیت منگنز ممکن است با اختلال و تغییرات رفتارهای عصبی همراه باشد. منگنز به مقدار ۰/۱ mg/l ایجاد لکه سیاه رنگ کرده و سایر مسائل و مشکلات آهن در آب را بوجود می آورد. آبی که آهن و منگنز دارد لکه های رنگی از قهوه ای پررنگ تا سیاه ایجاد می نمایند. قرمز رنگ شدن آب ناشی از آهن و تشکیل رسوب قهوه ای متمایل به زرد تا قرمز ناشی از هیدروکسید فریک را اصطلاحاً پدیده *آب قرمز*[1] و تیرگی و کدرشدن آب ناشی از منگنز را پدیده *آب سیاه*[2] می گویند. برای رفع مشکلات و نگرانی های فوق، غلظت آهن و منگنز در آب باید به ترتیب به کمتر از ۰/۳ و ۰/۰۵ میلی گرم در لیتر برسد. آهن و منگنز گاهی در آب های زیرزمینی و همراه با سولفید هیدروژن یافت می شوند. همچنین مقدار کمی آهن و منگنز آلی در آب های زیرزمینی با اسید هیومیک وجود دارد. غلظت آهن و منگنز در منابع آب های سطحی به تنهایی از ۱ mg/l تجاوز می کنند. در مقدار قلیایی کم (کمتر از ۵۰ mg/l)، مقدار آهن ممکن است به بیش از

---

[1] . *Red Water*
[2] . *Black Water*

۱۰ mg/l و مقدار منگنز به ۲ mg/l برسد. وجود آهن و منگنز در آب شرب برای سلامت انسان مشکل ساز است. مواد معدنی بر گوارایی آب و ویژگی هایی چون طعم و بوی نامطبوع و مشکلات خانگی مثل آلودگی آب شست و شو مؤثرند و در بسیاری از صنایع مشکلاتی از قبیل ترسیب و تشکیل یک لایه مواد معدنی ممکن است سبب بروز اختلالات زیادی شوند. نگرانی بسیار مهم این مواد رشد باکتریهای آهنی در شبکه توزیع آب است. استانداردهای ثانویهٔ آب شرب سازمان حفاظت محیط زیست (EPA) و همچنین استاندارد کیفیت آب ایران، بدلیل حفظ سلامت مصرف کنندگان و همچنین ملاحظات زیبایی شناختی و طعم، حداکثر مقدار مجاز آهن و منگنز را در آب آشامیدنی به ترتیب ۰/۳ mg/l و ۰/۰۵ mg/l اعلام کرده اند.

شایان ذکر است که آهن یکی از عناصر ضروری برای بدن بوده و برداشت روزانهٔ پیشنهادی آن ۱۴ mg است. اغلب افراد روزانه حدود ۲۰ mg از آن را می بلعند. کمبود آهن در پاره ای موارد ممکن است سبب کاهش سنتز "*هم*" و ایجاد عارضه "*آنمی*" شود. آب آشامیدنی تنها بخش کمی از آهن مورد نیاز روزانه را تأمین می کند. همچنین منگنز یک عنصر ضروری برای گیاهان و حیوانات بوده و برداشت روزانهٔ معمول آن برای انسان ۴ mg است. آب آشامیدنی کمتر از ۲ درصد از نیاز روزانهٔ منگنز را تشکیل می دهد. کمبود منگنز ممکن است باعث کاهش واکنش های آنزیمی در متابولیسم کربوهیدرات ها شود.

۲– روش های جداسازی و حذف آهن و منگنز در آب

اگرچه چندین روش برای جداسازی و حذف آهن و منگنز از آب وجود دارد، اما روش هوادهی و متعاقب آن صاف سازی روش متداول و مرسوم جداسازی آنها است.

روش های مختلفی برای حذف آهن و منگنز در تصفیهٔ آب وجود دارد. روش های پایه عبارتند از:

الف) اکسیداسیون با ته نشینی و فیلتراسیون؛

ب) تبادل یونی؛

ج) پایدار سازی به وسیله جدا کردن عوامل؛

د) سختی زدایی با آهک.

شایان ذکر است که اشکال مختلف اکسیداسیون شامل؛ ۱. هوادهی؛ ۲. کلرزنی؛ ۳. دی اکسید کلر؛ ۴. پرمنگنات پتاسیم و ۵. ازن زنی است.

با توجه به اینکه حذف با کاربرد مواد شیمیایی 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 آهن و منگنز در آب خواهیم پرداخت.

۳–انواع روش های هوادهی در حذف آهن و منگنز

معمولاً از چهار روش شاخص هوادهی در حذف و جداسازی آهن و منگنز و همچنین گازهای نامطلوب در تصفیه آب استفاده می شود. این روش ها عبارتند از:

۱) هوادهی ثقلی[۱]، ۲) هوادهی افشانی[۱]،) هوادهی دیفیوزری[۲] و ۴) هوادهی مکانیکی[۳]. ملاحظهٔ اصلی طراحی برای همهٔ هواده ها، فراهم آوردن حداکثر تماس بین آب و هوا با حداقل مصرف انرژی است.

---

[1] . *Gravity Aerators*

۱) هوادهی ثقلی

در هوادهی ثقلی از سرریز، آبشار، پله، صفحات صاف شیب دار، برج های عمودی با جریان رو به بالای 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 نازل های ثابت یا متحرک به داخل هوا می پاشند. آب به طور عمودی یا زاویه دار به طرف بالا حرکت کرده و دوباره به درون یک ظرف، بستر تماس یا حوضچهٔ جمع آورنده می ریزد. هواده های افشانی به عنوان آب نماهای دکوری نیز استفاده می شوند. برای تولید افشانه ای که آب را به قطرات ریز تبدیل کند، به مقدار زیادی انرژی نیاز بوده و آب باید عاری از جامدات درشت باشد. تلفات ناشی از جریان باد و انجماد در آب و هوای سرد، می تواند مشکلات فراوانی به همراه داشته باشند. برای هواده های فواره ای یا افشانی، توان مورد نیاز دمنده ها حدود ۱ kw به ازای هر یک میلیون گالن آب تصفیه شده (۱ kw به ازای هر ۳۷۸۵ m^3/d) می باشد. یک هواده افشانی متداول در شکل ۱- ب نشان داده شده است.

۳) هوادهی دیفیوزی

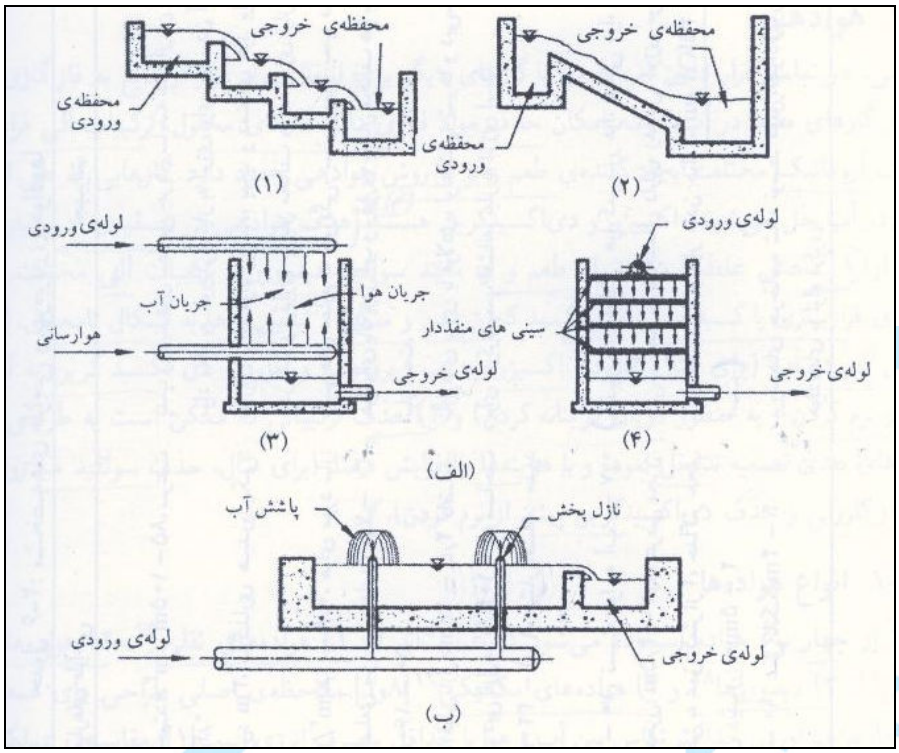
در این نوع هوادهی، آب در مخازن بزرگی هوادهی می شود. هوای فشرده از طریق صفحات و لوله های متخلخل به درون مخزن تزریق می شود. حبابهای هوای در حال صعود سبب ایجاد تلاطم شده و فرصت کافی برای مبادلهٔ مواد فرار بین حباب های هوا و آب فراهم می آید. زمان هوادهی بین ۱۰ تا ۳۰ دقیقه متغیر است. میزان هوادهی معمولاً بین ۱-۰/۱ m^3 در دقیقه به ازای هر مترمکعب حجم مخزن است.

۴) هوادهی مکانیکی

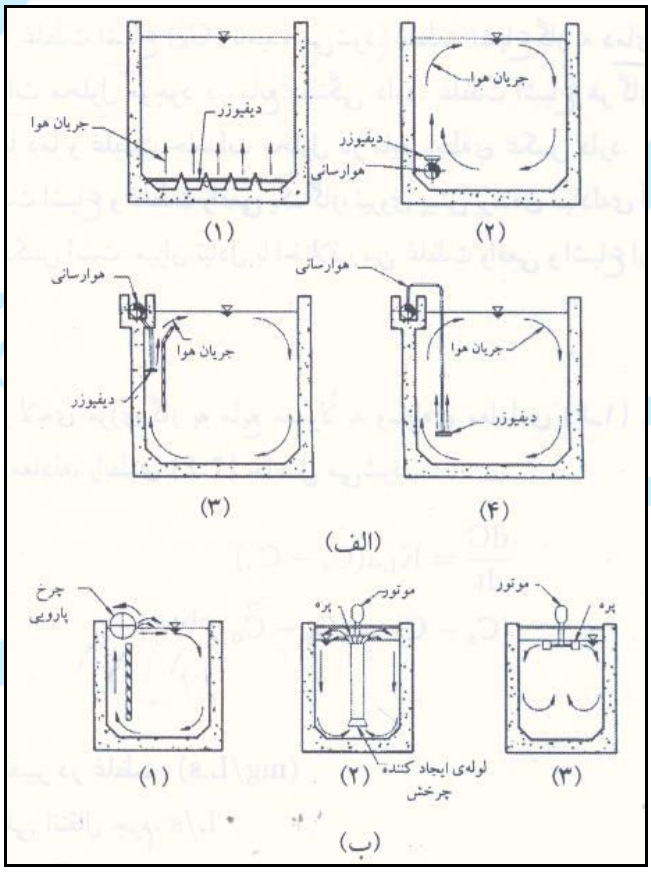
در هوادهی به روش مکانیکی از پروانه هایی که به وسیله موتور چرخانده می شوند، یا ترکیبی از پروانه و وسایل تزریق هوا استفاده می شود. وسایل متداول مورد استفاده پاروهای مستغرق، پاروهای سطحی، تیغه های پروانه ای، هواده های توربینی و هواده های با لولهٔ مرکزی هستند. هوادهی می تواند در مخزن و بوسیلهٔ هواده های توربینی یا لوله های مرکزی جریان هوا نیز انجام شود. این کار، اولین مرحلهٔ تصفیهٔ مخازن 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 هواده های دیفیوزری و مکانیکی را نشان می دهد.

---

[1] . *Spray Aerators*
[2] . *Diffusers*
[3] . *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.

۴–تئوری جداسازی و حذف آهن و منگنز به روش هوادهی

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. هوادهی اکسیژن لازم برای تبدیل آهن و منگنز دو ظرفیتی به آهن و منگنز سه ظرفیتی (فریک Fe^{+3} و منگانیک Mn^{+3}) نامحلول را فراهم می نماید. اکسیژن به مقدار ۰/۱۴ میلی گرم در لیتر برای جدا کردن ۱ میلیگرم آهن و ۰/۲۷ میلی گرم در لیتر برای جدا سازی ۱ میلیگرم در لیتر منگنز لازم است. بعد از هوا دادن مدتی آب را به حال خود می گذارند تا اکسیداسیون کامل انجام گیرد و سپس آب را از صافی عبور می دهند (معمولاً صافی های تحت فشار) تا رسوبات آهن و منگنز از آب جداسازی شوند. این فرآیند اغلب برای آب های زیرزمینی 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. واکنش کلی حذف به صورت زیر است:

$$4Fe(HCO_3)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 \downarrow + 8CO_2$$

$$2MnSO_4 + 2Ca(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2MnO_2 \downarrow + 2CaSO_4 + 2H_2O$$

گاهاً بمنظور هوادهی از دیفیوزرهای هوا برای پخش هوا در واحد هوادهی و تأمین هوای فرآیند در اعماق ۱۲ الی ft ۱۵ (معادل۳ تا ۴/۵ متر) استفاده می شود. نسبت حجم هوا به آب برابر با ۰/۷۵ به ۱/۰ است. اما این واحدها بازده تبدیل متوسط اکسیژن فقط ۵ تا ۱۰ درصد دارند و انرژی مصرفی و هزینه آن نیز قابل توجه می باشد، بنابراین روش مؤثر و بهینه ای محسوب نمی شود.

هواده های بشقابی یا سینی های منفذدار وسیله ای مؤثر در زمینهٔ اکسیداسیون به شمار می رود. این هواده ها شامل مجموعه ای از بشقابهای با فواصل ۱۲ تا in ۱۸ (معادل ۰/۳ تا m ۰/۴۵) هستند. کف این بشقابها سوراخ بوده و منفذدار هستند. کک، سنگ، شکسته، سنگ آهک یا مدیای پلاستیکی در کف هر یک از بشقابها به عنوان مادهٔ تماس قرار می گیرد و نرخ بارگذاری ۱۵ تا gpm/ft^2 ۲۰ (۳۷ تا m/h ۵۰) است. از لحاظ تئوری، mg ۱ اکسیژن، mg ۷ آهن دو ظرفیتی و mg ۳/۴ منگنز دو ظرفیتی را اکسید می کند.

نرخ هوادهی تابع pH آب فرآیندی است، pH بالا نتایج بهتری می دهد. برای تکمیل اکسیداسیون در مدت ۱۵ دقیقه، pH آب باید بیشتر از ۷/۵ (۸ مناسبتر است) باشد. منگنز به سختی و خیلی کم اکسید می شود و در pH های کمتر از ۹/۵ خیلی کم اکسید می شود. در حقیقت، برای اکسیداسیون منگنز در pH های برابر ۹/۵ بیشتر از یک ساعت زمان تماس و هوادهی لازم است. در حالت کلی پس از انجام هوادهی، لخته سازی و ته نشینی لازم است. بعد از این واحدها، واحد فیلتراسیون قرار می گیرد. به ویژه زمانی که غلظت آهن آب خام از mg/L ۵ تجاوز می کند.

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

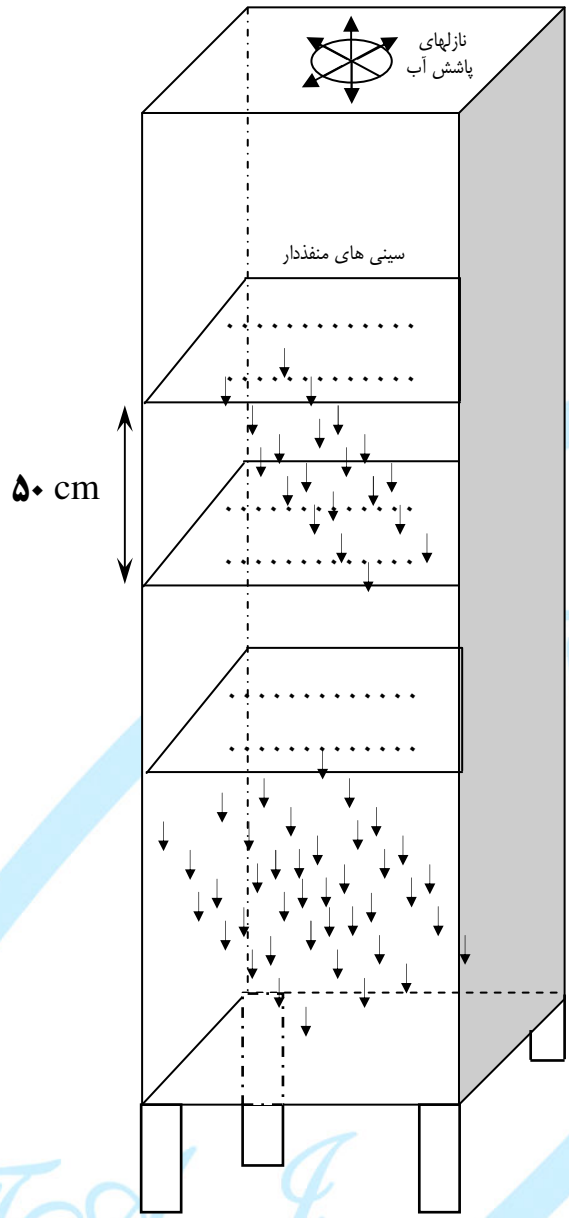
جدول شماره ۱- پارامترهای طراحی و تجهیزات مورد نیاز در روش های مختلف هوادهی

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.

۵-برج های هوادهی و سینی های منفذدار طراحی شده توسط شرکت تجهیز آب جم

کار اصلی برج های هوادهی و سینی های منفذدار کاهش غلظت یون های آهن و منگنز و جداسازی آنها از آب به روش رسوب دادن است. نحوه کارکرد این فرآیند به صورت برجی است که از بالای آن آب به طرف پایین جریان دارد. همان طور که می دانید در روش های هوادهی بمنظور حذف آلاینده ها، هرچه هوا با آب در تماس بیشتری قرار بگیرد راندمان جداسازی مطلوب تر است. برای افزایش مدت زمان تماس در داخل برج تمهیداتی اندیشیده شده است. بدین صورت که از سینی های منفذ داری استفاده شده که فاصله بین آنها ۳۰-۷۵ سانتیمتر و بطور متوسط ۵۰ سانتیمتر می باشد. تعداد سینی ها معمولاً ۳ یا ۴ عدد در نظر گرفته می شود. نرخ بارگذاری هیدرولیکی در محدوده ۰/۸ -۱/۵ $m^3/m^2.d$ می باشد.

شکل شماره ۳ بطور شماتیک نمونه ای برج های هوادهی و سینی های منفذدار و نحوه عملکرد آن را نشان می دهد.



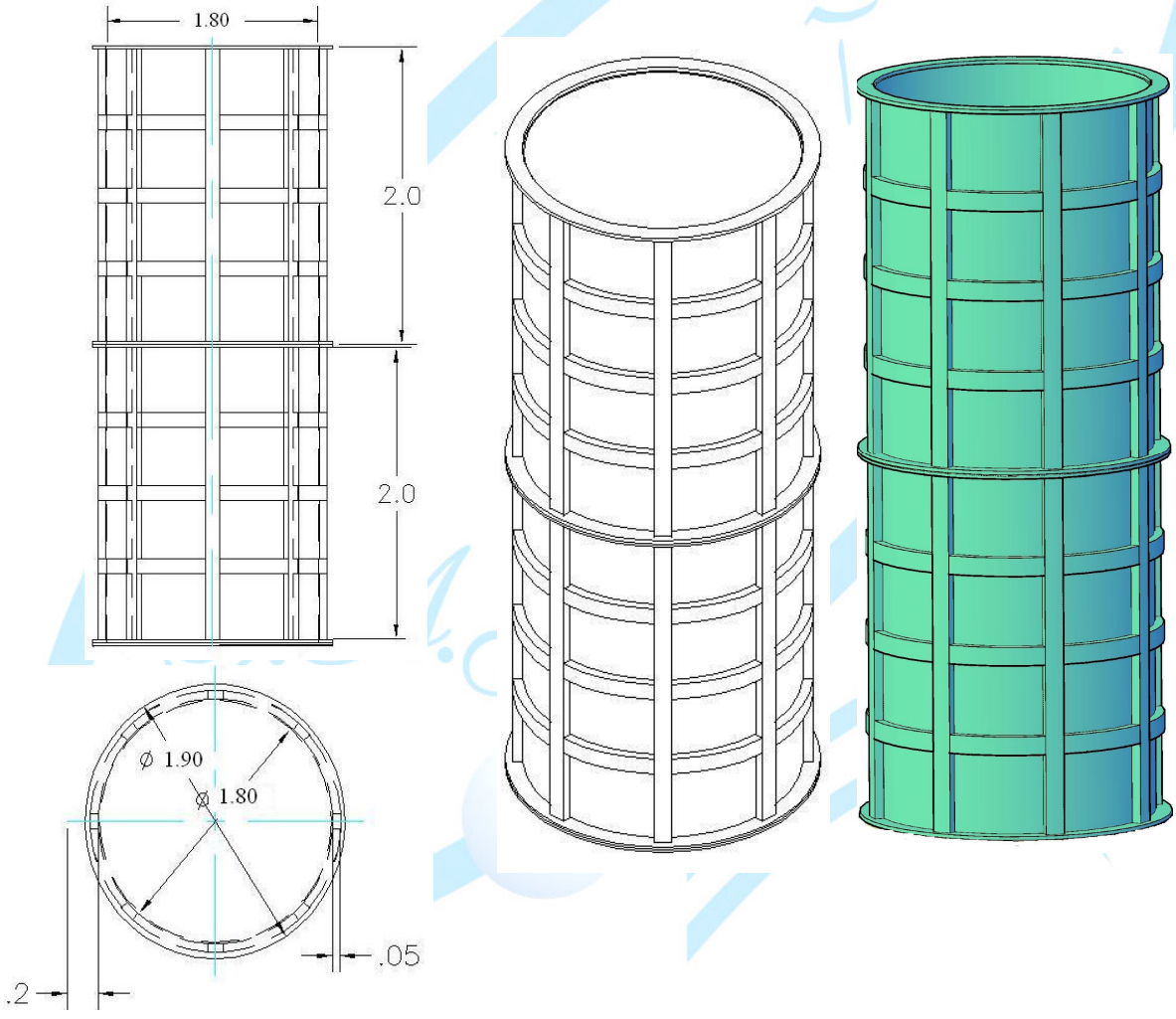
شکل شماره ۳- نمونه شماتیک برج های هوادهی و سینی های منفذدار و نحوه عملکرد آن

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 گردد (برج های سینی دار) تا باعث افزایش سطح تماس مؤثر هوا و آب شود. زمان تماس بیشتر به مفهوم ارتفاع زیادتر برای برج است.

جنس بدنه این برج ها باید بگونه ای باشد تا در برابر ترکیبات حاصل از مواد شیمیایی از قبیل خوردگی ناشی از یون آهن و میکروارگانیسم های فلزدوست (از قبیل گالیونلا، اسفروتیلوس ناتانس، تیوباسیلوس فرواکسیدانس، کرنوتریکس، فرنوتریکس و ...) مقاوم باشد. بدین دلیل جنس بدنه برج 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 هوادهی از جنس کامپوزیت تقویت شده نشان داده شده است.



شکل شماره ۴- شمایی از بدنه برج های هوادهی 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- محمد شریعت پناهی.**"اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب"**. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ پنجم. تهران. سال ۱۳۷۷.

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

6– Gabriel Bitton, ***"Wastewater Microbiology"***, Third Edition, Published by; Wiley-Liss, Inc.NewYork, 2005.

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

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

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

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

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

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