## هدف کلی: آشنایی دانشجو با مبانی طراحی واحدهای تصفیه آب و فاضلاب

### روش ارزشیابی:

حل تمرین و پروژه

گزارش بازدید از تصفیه خانه آب و فاضلاب

امتحان پایان ترم

### مراجع:


۱- مهندسی محیط زیست (جلد اول) ترجمه دکتر محمد علی کی نژاد و مهندس سیروس ابراهیمی، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند ۱۳۸۲

۲- راهنمای طراحی هیدرولیکی تصفیه خانه های آب، نشریه شماره ۴۳۶، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی وزارت نیرو ۱۳۸۷.

۳- راهنمای طراحی هیدرولیکی تصفیه خانه های فاضلاب، نشریه شماره ۴۰۵، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی وزارت نیرو ۱۳۸۶.

۴- راهنمای بهره برداری و نگهداری از تصفیه خانه های فاضلاب شهری، بخش دوم: تصفیه ثانویه، نشریه شماره ۲۸۴، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی وزارت نیرو ۱۳۸۳.

۵- راهنمای تعیین و انتخاب وسایل و لوازم آزمایشگاه تصفیه خانه های فاضلاب، نشریه شماره ۲۸۵، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور ۱۳۸۳.

**سرفصل**

۱- مقدمه ای بر تصفیه آب و اهداف آن، منابع تامین آب، کلیاتی راجع به تصفیه آب و استانداردهای مرتبط
۲- تصفیه فیزیکی آب (واحدهای پیش تصفیه یا تصفیه مقدماتی) و هوادهی آب
۳- تصفیه شیمیایی آب (انعقاد و لخته سازی، سختی گیری)
۴- حوضچه های ته نشینی، فیلتراسیون آب و انواع صافی ها، طرز کار و مزایا و معایب هر کدام
۵- گندزدایی آب (ازن، اشعه ماورای بنفش، کلر و ترکیبات آن)
۶- تاریخچه تصفیه فاضلاب، شناسایی منابع تولید فاضلاب و تقسیم بندی آنها
۷- اهداف تصفیه فاضلاب و تعیین خصوصیات فاضلاب، استانداردهای کیفی تخلیه پساب
۸- تصفیه مقدماتی فاضلاب
۹- فرایندهای تصفیه ثانویه فاضلاب (سیستم لجن فعال، صافی چکنده و ...)
۱۰-ضدعفونی کردن پساب
۱۱-سیستم های غیرمتمرکز تصفیه فاضلاب برای جوامع کوچک
۱۲-کاربرد پساب برای مصارف غیرشرب

# اصول مهندسی تصفیه آب

**مقدمه:**

کیفیت آب مورد نیاز برای مصارف خاص، به ندرت با ویژگی های طبیعی آب مطابقت دارد و ما با کمبود آب سالم و تمیز مواجه هستیم. لذا تامین آب سالم و بهداشتی برای کاربری های مختلف، به ویژه آب شرب، از مهمترین مسائل پیش روی می باشد.

مجموعه عملیاتی که به منظور آماده کردن آب برای مصارف مورد نظر اجرا می شود را تصفیه آب و مجموعه تاسیسات و تجهیزاتی که عملیات تصفیه را در بر می گیرد را تصفیه خانه می نامند. بنابراین برای تهیه آبی مناسب برای شرب و مصارف عمومی شهری یک رشته عملیات در تصفیه خانه آب به مورد اجرا گذارده می شود تا آب دریافتی از منابع آب را با کیفیتی قابل قبول در چهارچوب استاندارد آب آشامیدنی تحویل نماید.

عملیاتی که در تصفیه خانه آب آشامیدنی در رابطه با تصحیح کیفیت آب اجرا می شود، بستگی به کیفیت آب منابعی دارد که برای تامین آب آشامیدنی در نظر گرفته می شود و طرح تاسیسات تصفیه خانه نیز با در نظر گرفتن اینکه آب تصفیه شده برای مصرف شرب و مصارف عمومی شهری به کار برده خواهد شد پیش بینی می شود و تجهیزات و تاسیسات تصفیه خانه نیز براساس طرح مصوب نصب می گردد.

مهم‌ترین هدف از تصفیه آب شرب، در کنار حذف عوامل بیماریزا (به طوری‌که مصرف آن برای انسان بی‌خطر گردد )، بهبود آب از نظر رنگ، بو، مزه و کدورت در حد مورد قبول استانداردهای مربوطه است.

در جوامع بشری تصفیه آب وقتی مطرح می‌شود که کیفیت فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی آب خام برای آشامیدن مناسب نبوده و لازم باشد با انجام عملیاتی، کیفیت آب به حد مورد نظر برسد.

## مراحل مختلف طراحی تصفیه خانه آب:

*۱- انتخاب دوره طرح و تخمین جمعیت شهر بر اساس دوره طرح*

*۲- تعیین نیاز آبی منطقه (حداکثر نیاز آبی روزانه مبنای طراحی تصفیه خانه می باشد.)*

آب در شهرها به مصارف مختلفی می رسد که آنها را می توان به شرح ذیل تقسیم بندی کرد:

* مصرف خانگی
* مصرف عمومی
* مصرف تجاری و صنعتی
* مصرف آب در فضای سبز
* مصرف آب در آتش نشانی
* تلفات آب

عوامل موثر بر مصرف آب شهری عبارتند از شرایط اقلیمی، وضعیت فرهنگی و اقتصادی مردم، نوع جامعه، فشار آب، قیمت آب، نیاز به صرفه جویی، مدیریت سیستم آبرسانی

*۳- شناسایی منابع تامین آب*

در اغلب کشورهای جهان از آب‌های سطحی و زیرزمینی به عنوان منبع تامین آب برای مصارف عمومی استفاده می کنند. متداول‌ترین منابع آب سطحی شامل رودخانه ها، دریاچه های طبیعی و مصنوعی می باشند. به طور کلی، کیفیت آب‌های زیرزمینی بهتر از آب‌های سطحی بوده و در طی سال تقریبا یکنواخت است و عمل تصفیه آن نیز آسان‌تر می‌باشد. در بعضی از آب‌های زیرزمینی، غلظت مواد جامد محلول از جمله کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، سولفات و کلراید زیاد است. حذف این مواد غالبا دشوار و نیاز به عملیات خاص و پرهزینه دارد. اخیرا، با توجه به گسترش آلودگی‌ها و نشت آن‌ها به لایه‌های مختلف خاک استفاده از آب‌های زیرزمینی به تصفیه بیش‌تری نیاز پیدا کرده است .

کیفیت آب‌های سطحی در طول سال دارای تغییرات بیش‌تری نسبت به آب‌های زیرزمینی است و از این‌رو تصفیه خانه‌های مربوط به آب‌های سطحی نیازمند قابلیت بیش‌تری نسبت به آب‌های زیرزمینی می‌باشند. آب‌های سطحی معمولا فراوان‌تر از آب‌های زیرزمینی بوده و اغلب شهرهای بزرگ جهان، از آب‌های سطحی به‌عنوان منبع اصلی تامین آب شرب استفاده می کنند.

به طور کلی منابع آب که به منظور تامین آب آشامیدنی و مصارف عمومی به کار گرفته می شوند، شامل:

منابع آبهای سطحی : دریاها و دریاچه ها، برکه ها، رودخانه ها، جویبارها

منابع آبهای زیرزمینی : چاهها، قنوات و چشمه ها می باشد.

*۴- بررسی کیفیت آب خام ورودی به تصفیه خانه (تعیین پارامترهای کیفی آب)*

خصوصیات آبهای زیرزمینی:

* دی اکسید کربن ممکن است در این آبها زیاد باشد.
* pH این آبها معمولاً در حدود ۹/۷- ۹/۶ است.
* مواد معلق در این آبها بسیار کم است.
* این آبها ممکن است دارای ذرات شن باشند.
* معمولاً مواد آلی در این آبها کم است.
* این آبها حاوی آهن محلول و گاهی منگنز محلول هستند که در اثر اکسیداسیون ذرات زرد – قهوه ای در آنها ظاهر می شود.
* معمولاً این آبها حاوی املاح زیاد می باشند.
* معمولاً حاوی سختی می باشند (بیشتر سختی موقت)
* در آبهای شور غلظت یون کلر و سدیم بسیار زیاد است.

خصوصیات آبهای سطحی:

* pH این آبها در حدود ۷- ۸ می باشد.
* مواد آلی موجود در این آبها در نقاط مختلف فرق می کند
* معمولاً آلوده به میکروارگانیسم ها هستند
* مقدار آمونیاک، فنل و نیترات این آبها ممکن است زیاد باشد.
* ممکن است حاوی دترجنت، نفت، روغن و فلزات سنگین باشد.
* معمولاً آبهای سطحی ناشی از کشاورزی حاوی نیترات و فسفات هستند.

*۵- کیفیت آب تصفیه شده با توجه به استانداردهای کیفی موجود برای کاربری مورد نظر (شرب، صنعتی و ... )*

در مورد آب آشامیدنی استانداردهای ملی، منطقه ای (مانند استاندارد جامعه اروپا) و بین المللی وجود دارد. استاندارد بین المللی متداول در مورد کنترل کیفی آب، استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) است که نسبت به استاندارد

جامعه اروپا و ایالات متحده آمریکا، آسا ن‌تر و برای بیش‌تر کشورها کاربردی‌تر است. در ایران نیز به منظور کنترل کیفی آب آشامیدنی از استاندارد نشریه شماره ۳-۱۱۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور استفاده می شود.

*۶- انتخاب محل تصفیه خانه آب:*

- محل تصفیه خانه باید تا حد ممکن به منبع آب، محل توزیع و برق نزدیک باشد.
- در محل تصفیه خانه باید زمین کافی برای توسعه احتمالی آینده موجود باشد (معمولاً به ازای هر نفر ۲/۰-۳/۰ متر مربع زمین را در نظر می گیرند)
- محل تصفیه خانه باید به راههای اصلی نزدیک باشد تا انتقال وسایل و کارگران در مرحلهٔ ساخت و انتقال مواد شیمیایی و رفت و آمد پرسنل در مرحلهٔ بهره برداری به راحتی و با هزینهٔ کم انجام گیرد.
- حتی الامکان آب تصفیه شده به مخازن ذخیره با نیروی ثقل انتقال یابد.
- ساختمان اداری و آزمایشگاه کنترل کیفیت آب باید نزدیک محل تصفیه خانه باشد.
- وضع ظاهری تصفیه خانه و محوطهٔ آن از زیبایی کافی برخوردار باشد.

*۷- انتخاب واحدها و فرایندهای عملیاتی مورد نیاز تصفیه با توجه به کیفیت آب خام ورودی و کیفیت مورد نیاز آب*

(واحد ورودی، واحد پیش ته نشینی ، واحد اختلاط سریع، واحد لخته سازی و زلالسازی، ...)

*۸- انتخاب ساختمان و تجهیزات جنبی مورد نیاز تصفیه خانه*

( ساختمان اداری، ساختمان کنترل مرکزی، انبار، آزمایشگاه، فضا ها و تجهیزات نگهداری و ذخیره مواد شیمیایی، نگهبانی، غذاخوری)

## روش‌های تصفیه آب شرب

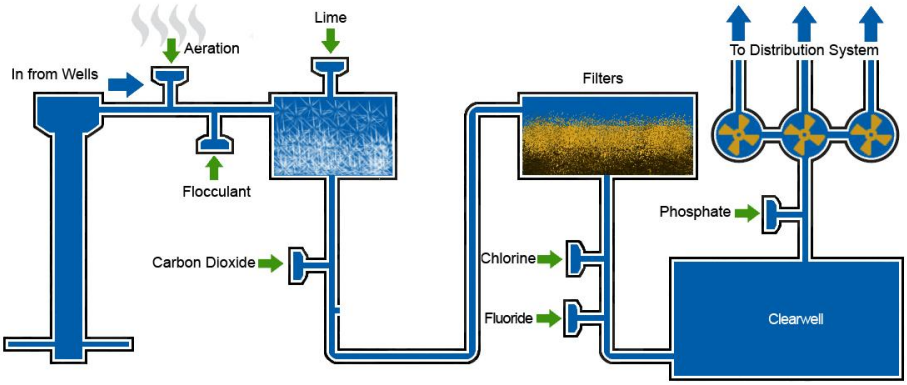
انتخاب فرایندهای تصفیه و طراحی واحدهای مورد نیاز بستگی کامل به بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌ها و ارزیابی طبیعت و کیفیت آب خام و کیفیت مورد نظر برای آب تصفیه شده، دارد. به علاوه، لازم است شرایط محلی و امکانات اجرایی، بهره‌برداری و نگهداری موجود در منطقه در کنار سایر مسایل در نظر گرفته شود. ولی به طور کلی آب‌های

سطحی نسبت به آب‌های زیرزمینی به عملیات تصفیه بیش‌تری نیاز دارند. آب‌های زیر زمینی حتی اگر عاری از هرگونه آلودگی میکروبی باشند، لازم است به منظور حفظ شبکه توزیع و رعایت سلامت جامعه، گندزدایی شوند. اگرچه برخی از آن‌ها به تصفیه بیش‌تری نیاز دارند تا سختی آن‌ها کاهش یافته و آهن و سایر ترکیبات که باعث ایجاد لکه، طعم، بو و رنگ می‌شوند، از آب خارج شوند. آب‌های سطحی معمولا علاوه بر ارگانیسم‌های بیماریزا حاوی کدورت، موجودات آبزی مانند جلبک ها و مقادیر جزیی از سایر آلاینده‌ها هستند که باید با روش صحیح و مناسب از آب خارج شوند .

فرایندهای اصلی تصفیه آب شامل مراحل انعقاد و لخته سازی، ته‌نشینی، صاف‌کردن و گندزدایی است و با توجه به عمومیت کاربرد این واحدها در بسیاری از تصفیه‌خانه های آب، تحت عنوان واحدهای تصفیه متعارف مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین برای کاهش میزان ناخالصی‌ها و یا تعدیل مشخصات نامطلوب آب قبل از رسیدن به تصفیه‌خانه مجموعه عملیاتی تحت عنوان پیش تصفیه یا تصفیه مقدماتی بر روی آن انجام می‌گیرد. تصفیه مقدماتی شامل واحدهای آشغال‌گیری، پیش رسوب‌گیری و پیش کلرزنی است و می‌تواند در محل تامین آب و یا در ورودی آب به تصفیه‌خانه قرار گیرد. به علاوه چنانچه در تصفیه آب نیاز به دستیابی به درصدهای بالای تصفیه و یا حذف برخی ناخالصی‌های خاص از آب باشد از مجموعه عملیاتی تحت عنوان تصفیه پیشرفته آب استفاده می‌شود.

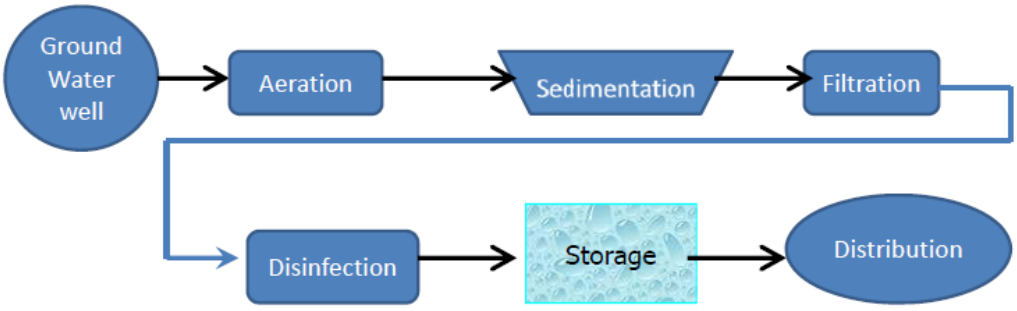
فرآیندهایی که برای تصفیه آب آشامیدنی مورد استفاده قرار می گیرند، بستگی به کیفیت آب منبع انتخاب شده دارند. بیشتر آبهای زیرزمینی عاری از عوامل بیماری زا و هم چنین فاقد مقادیر قابل توجهی از مواد آلی هستند. این قبیل آبها را می توان با استفاده از حداقل مقدار کلر برای جلوگیری از آلودگی آب در شبکه های توزیع آب، در سیستم های آب آشامیدنی مورد استفاده قرار داد. اما ممکن است بعضی از آبهای زیر زمینی دارای مقادیر زیادی از جامدات محلول، گازها و یا مقادیر اضافی آهن، منگنز و یا حتی مواد آلی و میکروبی باشند، که در این صورت به فرایندهای پیچیده تصفیه آب نیاز می باشد. از طرف دیگر، با توجه به اینکه امکان ورود فاضلاب صنایع مختلف به آبهای سطحی وجود دارد، تنوع آلاینده ها در این آبها معمولا زیاد است و لذا فرایندهای تصفیه آن پیچیده تر از آبهای زیرزمینی است. بنابراین بر حسب اینکه منبع تامین آب، آب زیرزمینی باشد و یا آبهای سطحی، فرایندهای مختلفی برای تصفیه آنها مورد نیاز خواهد بود.

سیستم های تصفیه که معمولا برای تهیهٔ آب آشامیدنی از آبهای زیرزمینی مورد استفاده قرار می گیرند به ترتیب عبارتند از: هوادهی (Aeration)، سختی گیری (Softening)، فیلتراسیون (Filtration)، گندزدایی (Disinfection) و ذخیره سازی (Storage). شکل (۱) شمای کلی از مراحل مختلف تصفیه آبهای زیرزمینی را نشان می دهد.

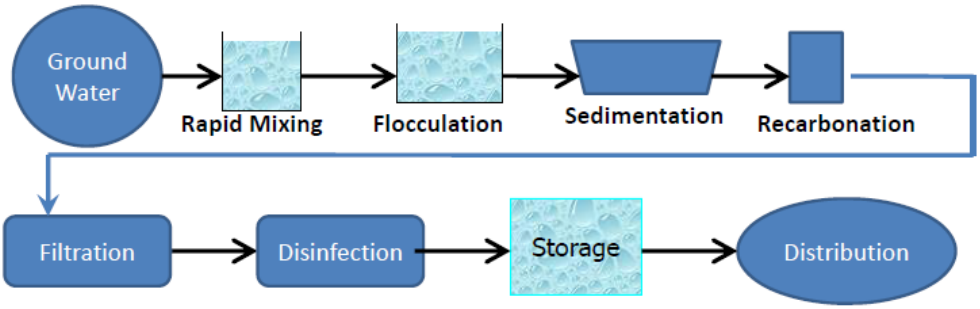



**شکل ۱- شمای کلی از مراحل تصفیه آبهای زیرزمینی**

| | |
|---|---|
| Groundwater well | چاه استخراج آب زیرزمینی |
| Aeration | هوادهی (حذف گازهای محلول یا اکسیداسیون فلزات نامطلوب) |
| Sedimentation | ته نشینی |
| Filtration | فیلتراسیون |
| Disinfection | گندزدایی (افزودن کلر یا سایر مواد ضدعفونی کننده به آب) |
| Storage | ذخیره آب |
| Distribution | توزیع آب |
| Rapid Mixing | اختلاط سریع(افزودن مواد شیمیایی برای انعقاد ذرات کلوئیدی) |
| Flocculation | لخته سازی |
| Recarbonation | کربناسیون مجدد (تزریق دی اکسید کربن برای پایدارسازی آب) |

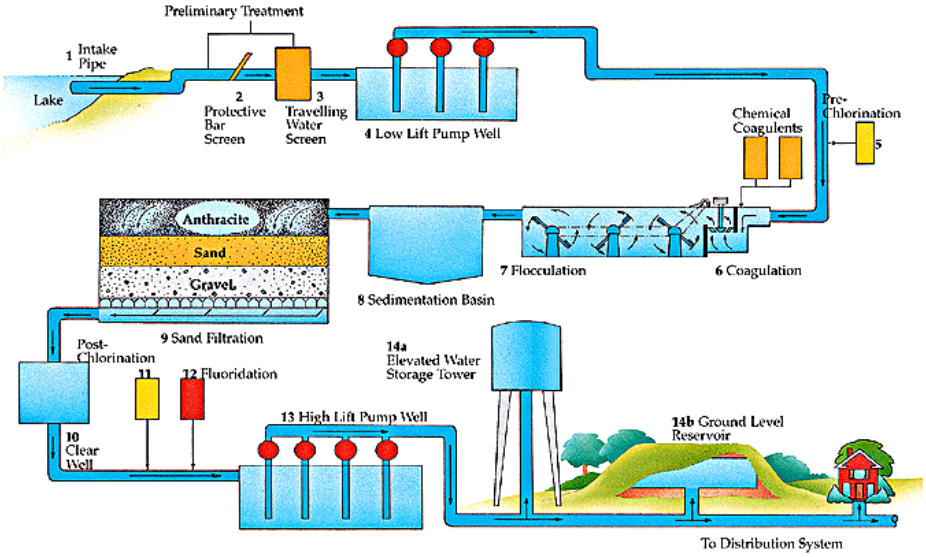



**شکل ۲- فلوچارت تصفیه آب زیرزمینی فاقد سختی**

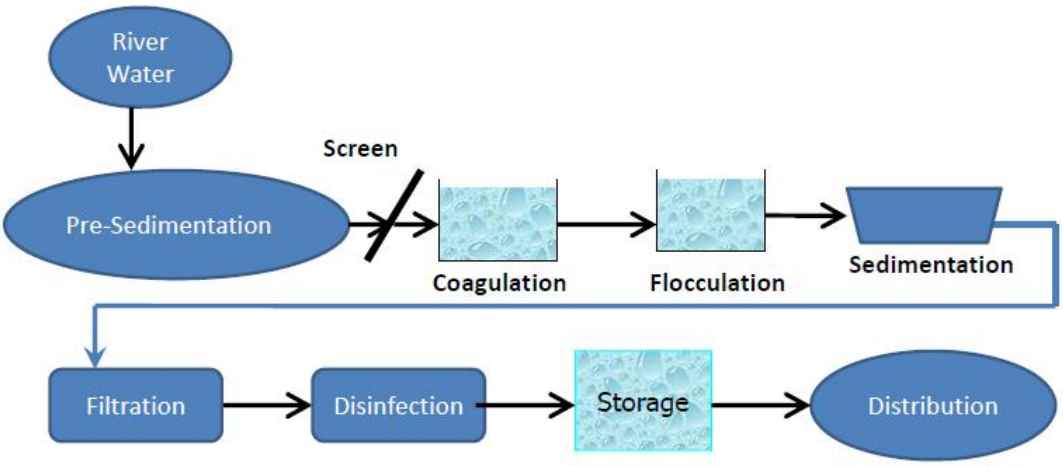



**شکل ۳- فلوچارت تصفیه آب زیرزمینی فاقد گازهای نامحلول یا فلزات نامطلوب**

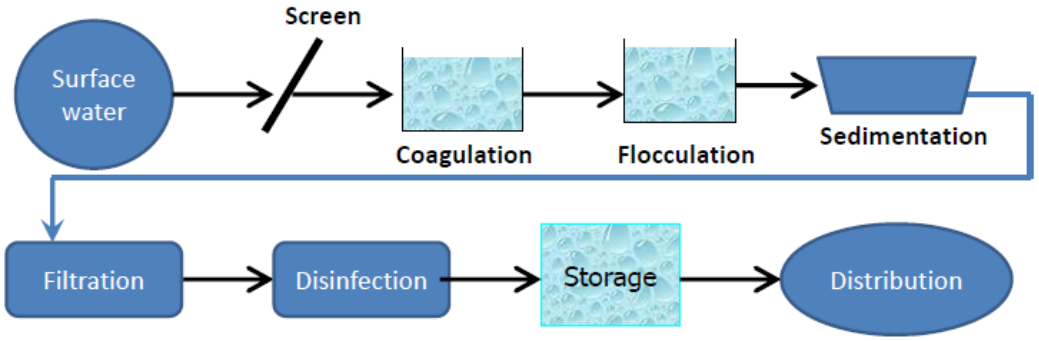
سیستم های تصفیه که معمولا برای تهیهٔ آب آشامیدنی از آبهای سطحی مورد استفاده قرار می گیرند به ترتیب عبارتند از: پیش ته نشینی (Pre-settlement)، آشغال گیری و کانال دانه گیری (Screen) اختلاط و لخته سازی (Coagulation)، ته نشینی (Settlement)، فیلتراسیون (Filtration)، گندزدایی (Disinfection) و ذخیره سازی (Storage). شکل (۲) شمای کلی از مراحل مختلف تصفیه آبهای سطحی را نشان می دهد.




**شکل ۴- شمای کلی از مراحل تصفیه آبهای سطحی**




**شکل ۵- فلوچارت تصفیه آب سطحی همراه با حوضچه پیش ته نشینی**




**شکل ۶- فلوچارت تصفیه آب سطحی فاقد حوضچه پیش ته نشینی**

لازم به تذکر است که مراحل مختلف تصفیه آب که در بالا اشاره شد، به کیفیت آب خام مورد استفاده بستگی دارد و این مراحل از یک منبع تامین آب به منبع دیگر تامین آب می تواند متفاوت باشد. بنابراین متناسب با کیفیت آب خام مصرفی، ممکن است نیاز به افزودن مراحل دیگر و یا حذف مراحلی در تصفیه آب باشیم. در ادامه مراحل مختلف تصفیه آب را شرح می دهیم.

## فرایندهای تصفیه آب شهری:

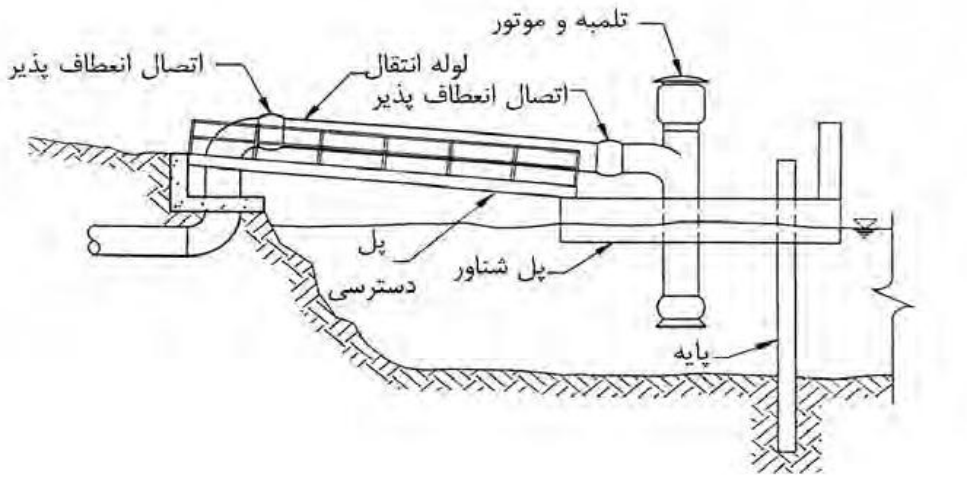
### ۱- عملیات پیش تصفیه:

در بسیاری از تصفیه خانه ها قبل از ورود آب خام با انجام برخی اعمال، کیفیت آب را تا حدودی بهبود می بخشند تا عملیات تصفیه با بازدهی بهتری انجام گیرد. این مجموعه عملیات تحت عنوان پیش تصفیه مورد بررسی قرار می گیرد. این اعمال شامل برداشت آب خام، آشغال گیری، هوادهی، پیش رسوب گیری و پیش کلرزنی می باشد.

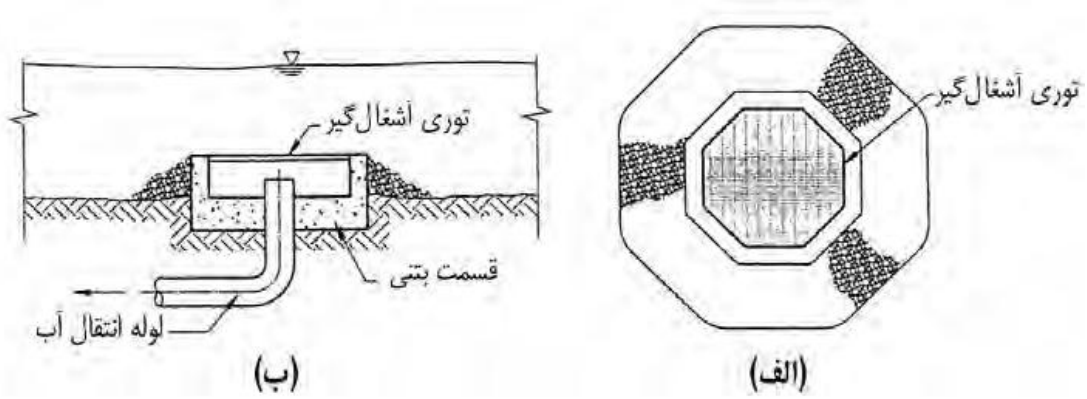
## ۱-۱- تاسیسات برداشت آب خام:

تاسیسات برداشت آب خام به منظور کنترل استحصال آب از منابع سطحی کاربرد دارند. ابتدایی ترین وظیفه این تاسیسات، برداشت آب مطلوب از لحاظ کیفی است به نحوی که فاقد آبزیان، ذرات شناور، رسوبات و دیگر ذرات باشد. این تاسیسات ممکن است یک لوله ساده مستغرق و یا تاسیساتی شبیه یک برج، متشکل از دریچه های ورودی، آشغال گیر، شیرهای کنترلی، تلمبه، شیپوره های تزریق مواد شیمیایی، دستگاه های دبی سنجی و غیره باشند.

با توجه به دبی آب مورد نیاز و همچنین هد مورد نیاز، تعداد پمپ‌ها و ظرفیت آن‌ها تعیین می‌شود. آب ورودی به تصفیه‌خانه، توسط شیرهای کنترلی تنظیم و بین مدول‌ها تقسیم می‌گردد.




**شکل ۷- آبگیر شناور**




**شکل ۸- آبگیر مستغرق الف) تصویر افقی، ب) مقطع عرضی**

## هوادهی (Aeration):

هوادهی فرآیندی است که برخی اوقات برای تهیهٔ آب آشامیدنی از آن استفاده می شود. از هوادهی ممکن است برای خارج ساختن گازهای نامطبوع در آب (گاز زدائی) یا افزودن اکسیژن به آب برای تبدیل مواد نامطلوب به شکلی مناسبتر (اکسیداسیون) استفاده می شود.

اغلب گازهای طبیعی مانند اکسیژن، دی اکسید کربن، آمونیاک، متان و سولفید هیدروژن در آب حل شده و در کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب موثر واقع می شوند. هر کدام از این گازها با توجه به منشاء آب، آلوده کننده های آن و فرآیند تصفیه آب ممکن است وارد آب شده باشند. اکسیژن و ازت که به ترتیب ۲۱ و ۷۹ درصد از هوا را تشکیل می دهند. چنانچه سطح تماس آب با هوا بر اثر تلاطم افزایش یابد، حل شدن این گازها در آب تشدید می گردد .گازهای $NH_3$ و$CO_2$ در اثر واکنش شیمیایی که بین آب و گاز صورت می گیرد، با آب ترکیب و در کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب موثر واقع می شوند .گاز متان در آب غیر محلول است و با آب ترکیب نمی شود. این گاز که حاصل فعالیتهای بیولوژیکی بی هوازی در لجن ته نشسته است، به تدریج از آب خارج و در بعضی از آبهای زیرزمینی نزدیک به مناطق مردابی نیز دیده می شود.

مهمترین گازهای موجود در آبهای زیرزمینی عبارتند از سولفید هیدروژن، دی اکسید کربن و متان. این گازها محصول نهایی تجزیه مواد آلی موجود در خاک می باشند. گاز سولفید هیدروژن که عمدتاً بر اثر تجزیه بی هوازی بعضی از ترکیبات آلی و معدنی حاصل می شود، در بعضی از آبهای زیرزمینی که خاک آن مناطق حاوی مواد آلی و معدنی بخصوصی است وجود دارد. این گاز همچنین می تواند از پیوستن فاضلابهای گندیده و برخی از پسابها به آبهای سطحی و زیرزمینی وارد آنها شود.

هوادهی معمولا برای تصفیهٔ آبهای زیر زمینی به کار می رود، زیرا آبهای سطحی برای مدت زمان کافی با اتمسفر در تماس بوده و از این رو عمل انتقال گاز به صورت طبیعی انجام می پذیرد. دی اکسید کربن می تواند باعث خاصیت خورندگی در آب شده و همچنین به دلیل تغییر pH آب، در سایر فرایندهای تصفیه آب می تواند تاثیر گذار باشد. سولفید هیدرژن و متان نیز می توانند تولید بو و مزه در آب شوند. هوادهی آب می تواند باعث خارج شدن این گازها از آب شود. آهن و منگنز عناصری هستند که معمولا در آبهای زیرزمینی عمیق وجود دارند. این عناصر باعث ایجاد رنگ در آب می شوند. هوادهی آب باعث اکسیداسیون این عناصر و تبدیل آنها به صورت رسوب می شود. هوادهی آب به دو صورت فرستادن آب به هوا، و یا دمیدن هوا به آب صورت می گیرد. به طور کلی مشکلات ناشی از گازهای موجود در آب را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

### الف -ایجاد بو و طعم

بو و مزه در آبها معمولاً همراه یکدیگرند و عمدتاً از تجزیه و فساد مواد آلی حاصل می شوند. وجود سولفید هیدروژن، کلر، فنل و آمونیاک به آب بوی ناخوشایند می دهند. سولفید هیدروژن بوی تخم مرغ گندیده ایجاد می کند که در غلظتهای کم هم مشخص است. کلر علاوه بر آنکه بوی خاص خودش را دارد، با بعضی از ناخالصیهای آب مانند فنل ترکیب شده و ایجاد کلرو فنل می کند که بوزاست.

### ب -خوردگی

تعداد زیادی از گازهای محلول از طرق مختلف (اکسیداسیون، ترکیب و ...) اثر خورندگی در آب ایجاد می کنند و در تاسیسات مختلف تصفیه خانه های آب، فاضلاب و لوله های جمع آوری فاضلاب و توزیع آب موثر واقع شده و ایجاد اشکال می کنند. نقش اکسیژن و گاز کربنیک در خوردگی فلز آهن و سولفیدهیدروژن برای بتن اهمیت بیشتری دارد. آمونیاک در pH بالاتر از ۹ باعث خوردگی وسایل مسی و برنجی می شود.

### ج -ایجاد رسوب

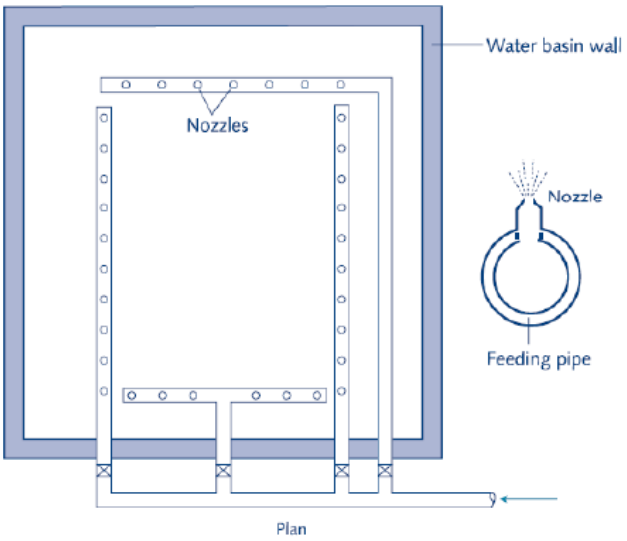
از واکنش بعضی گازهای محلول با فلز آهن رسوبی تولید می شود که به نوبه خود مشکل ایجاد می کند. اکسید آهن ($Fe_2O_3$) ضمن اینکه غیر محلول است و پیشرفت خوردگی را باعث می گردد، رنگ آب را نیز تغییر می دهد . رسوب سولفور آهن که بر اثر ترکیب سولفیدهیدروژن با آهن حاصل می گردد باعث ضایع شدن رزینهای تعویض یونی می شود.

## انواع هوادهی آب:

معمولاً برای حذف گازها از دو روش فیزیکی و شیمیایی استفاده می شود. در تصفیه خانه های آب آشامیدنی روش شیمیایی استفاده نمی شود و فقط بعضی روشهای مکانیکی مورد استفاده قرار می گیرد. در تصفیه خانه های آب معمولا از روش فرستادن آب به هوا برای هوادهی آب استفاده می شود که به یکی از سه روش زیر می تواند باشد.

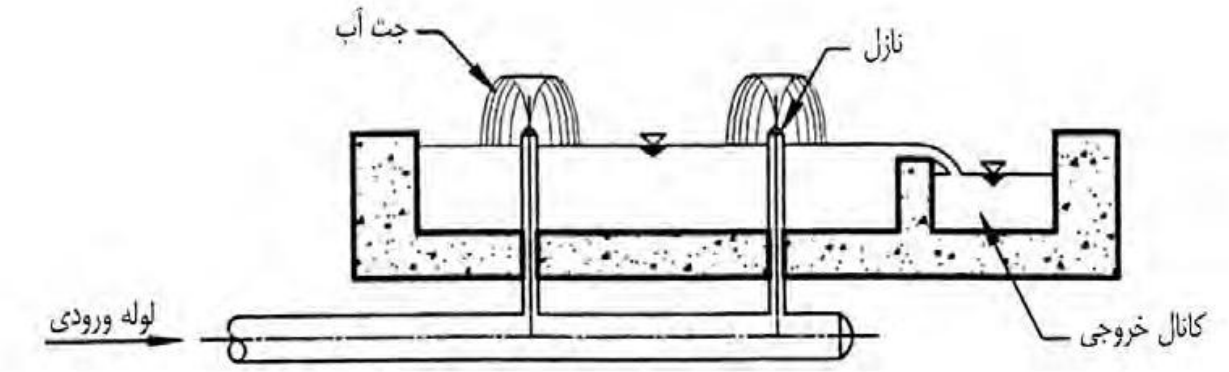
## هوادهی افشانه ای یا فواره ای (Spray Aeration):

در این روش آب از لوله های سوراخدار عبور داده می شود. آب خروجی از سوراخها به صورت پاششی به مخزنی که در پایین لوله است، می ریزد و عمل هوادهی انجام می شود. این روش نیاز به سطح و حجم زیاد دارد و ممکن است از لحاظ اقتصادی قابل توجیه نباشد.




**شکل ۹- شمای کلی از هوادهی فواره ای**

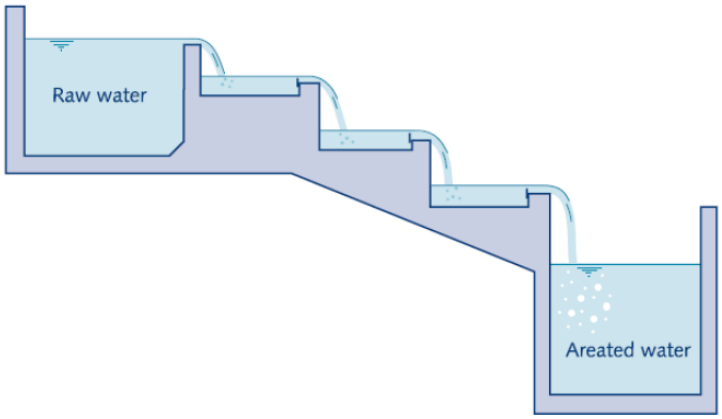
**شکل ۱۰- استفاده از فواره ها در هوادهی آب**




**شکل ۱۱- قسمت های مختلف هواده افشانه ای**

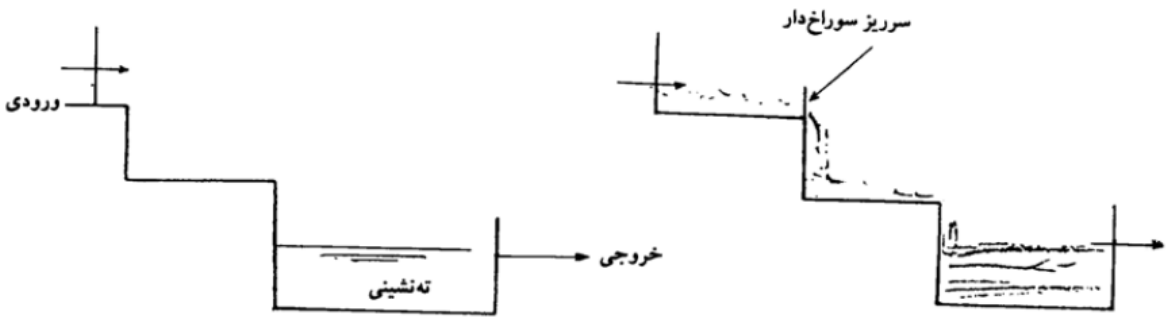
## هوادهی آبشاری یا پلکانی ( Cascade Aeration)

در این روش هوادهی از پله هایی به بلندی حدود ۳۰ سانی متر استفاده می شود. آب در حین ریزش از روی پله ها در سطح وسیعی با هوا تماس داشته و عمل هوادهی آب انجام خواهد شد.




**شکل ۱۲- شمای کلی از هوادهی آبشاری (پلکانی)**

**شکل ۱۳- استفاده از برج های آبشاری در هوادهی آب**

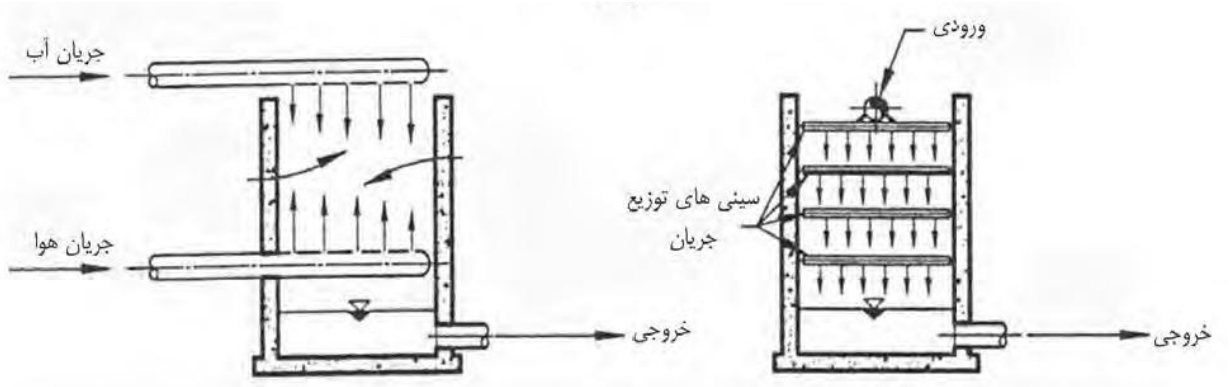



**شکل ۱۴- شماتیک هواده آبشاری**

## هوادهی با برج های سینی دار ( Multiple Tray Aeration Waterfall or)

طبیعتاً مشابه برجهای آبشاری هستند، به این معنی که آب بالا برده می شود و به ارتفاع پایین تر ریزش می کند. در این روش هوادهی از تعدادی سینی استفاده می گردد که در کف آنها روزنه هایی وجود دارد و درون آنها ممکن است از کک، سرامیک و یا پلاستیک پر شده باشد تا هنگام عبور آب از آنها تماس بیشتری با هوا پیدا نماید. با افزایش تعداد سینی ها می توان زمان تماس را افزایش داد .سطح مورد نیاز سینی ها ۰/۷ تا ۲ متر مربع برای هر ۱۰۰۰ مترمکعب آب در روز است. برجهای سینی دار، بیشتر برای اکسیداسیون آهن و منگنز مورد استفاده قرار می گیرند.

**شکل ۱۵- استفاده از برج های سینی دار در هوادهی آب**



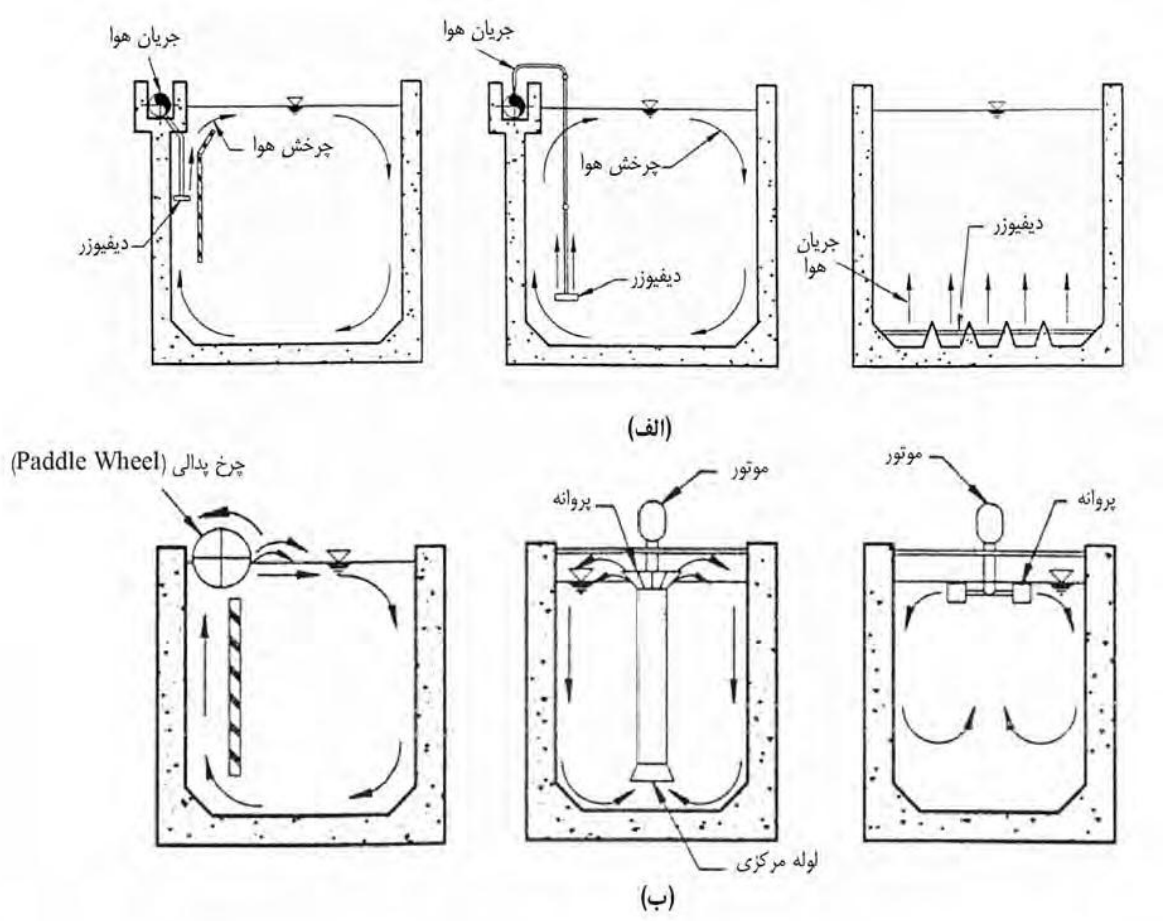

**شکل ۱۶- هواده برج سینی و هواده فواره ای**

## هوادهی با تزریق هوا

در این روش هوادهی از یک مخزن بتنی که در نزدیکی کف آن لوله های سوراخدار و یا صفحات سوراخدار است استفاده می شود. هوا پس از عبور از سوراخها به صورت حبابهای ریز به طرف سطح آب حرکت می نمایند. چون در این روش سرعت صعود حبابهای هوا کمتر از سرعت سقوط قطره های آب در هوادهی آبشاری است، لذا سودمندی آن بیشتر است. حبابهای هوا در حین بالا آمدن باعث به هم زدن آب می شود و مترتب سطح تماس آب و هوا را بیشتر کرده و تبادل انجام می گیرد. زمان ماند در این واحد حدود ۱۵ دقیقه و عمق مورد نظر ۳ تا ۴ متر توصیه شده است، عمق کمتر باعث کاهش سودمندی تبادل گاز می گردد.

سیستم هوا در آب معمولا در تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار می گیرد که در بخش تصفیه فاضلاب در مورد آن استفاده خواهد شد. شکل زیر نمونه ای از حوضچه های هوادهی فاضلاب را نشان می دهد.

**شکل ۱۷- حوضچه هوادهی فاضلاب**




**شکل ۱۸- الف) هواده های پخشی، ب) هواده های مکانیکی**

## حوضچه پیش ته نشینی (pre-settlement basin)

ته نشینی موجب جداسازی فیزیکی مواد جامد از آب می شود. در عمل ته نشینی کلیه موادی که دانسیته آنها بیش از آب است به طریق ثقلی جداسازی می شوند. به عبارت دیگر در این مرحله ذرات مجزا ته نشین می شوند. ذرات مجزا به ذراتی گفته می شود که اندازه، شکل و وزن مخصوص آنها با زمان تغییر نمی کند. مانند سنگ ریزه، شن، ماسه و سایر مواد ریگ دار آب خام.

حوضهای پیش ته نشینی ممکن است در محل آبگیری در جوار رودخانه و خارج از تصفیه خانه طراحی گردد. مواد زاید را که همراه آب رودخانه است و در حوض پیش ته نشینی ته نشین شده است، می توان به طریق مقتضی دفع نمود. بدین منظور تعداد دو یا چند واحد حوض پیش ته نشینی طراحی می شود که یک یا چند واحد از آنها در حال بهره برداری و بقیه در حال شستشو یا در انتظار راه اندازی خواهند بود.

زمان ماند Detention Time (مدت زمان توقف آب در استخر) در این استخرها بین ۱/۵ تا ۴ ساعت متغیر است.

عمق این استخرها معمولاً بین ۳ تا۵ متر و نسبت طول به عرض بین ۳ تا ۶ متغیر است.

سرعت ته نشینی مواد به عوامل مختلفی مانند وزن مخصوص، قطر ذرات(قطر دو برابر شود سرعت چهار برابر می شود، قطر نصف شود سرعت یک چهارم می شود) و درجه حرارت آب بستگی دارد. (درجه حرارت بالا به علت دارا بودن ویسکوزیته کمتر در مراحل انعقاد- ته نشینی و صاف کردن سریعتر عمل تصفیه را انجام می دهد). همچنین ترتیب قرار گرفتن حوضهای ته نشینی به صورت سری (پشت سر هم) در ته نشین کردن مواد قابل ته نشینی موجود در آب نقش مؤثری خواهد داشت.

**شکل ۱۹- حوضچه پیش ته نشینی مستطیلی**

اغلب حوضهای پیش ته نشینی دارای لجن روب و سیستم تخلیه خودکار لجن هستند. در موقع شروع به بهره برداری از یک حوض پی ش ته نشینی، آب را به تدریج در حوض وارد می کنند تا حوض به آرامی پر شود. در این حالت دریچه خروج آب از حوض پیش ته نشینی کاملاً باز می شود، برای شستشوی حوض پیش ته نشینی ابتدا شیر ورود به حوض را بسته و شیر تخلیه را باز م یکنند، زمانی که سطح آب پایین رفت و گل و لای و ماسه ظاهر شد شیر آب شستشو را که آب را، از حوضچه آب ته نشین شده یا از حوض مجاور که در حال بهره برداری است دریافت می کند، باز می کنند تا جریان این آب گل و لای و ماسه ته نشسته را در امتداد شیب کف حوض به طرف مجرای خروجی براند و از شیر تخلیه خارج سازد.

مدت زمان بهره برداری از حوض پیش ته نشینی بستگی به میزان مواد معلق و کیفیت آن در آب خام دارد؛ زیرا به لحاظ جلوگیری از بروز مشکلات احتمالی بیولوژیکی و پر شدن لجن لازم است حوضها به تناوب برای شستشو از سرویس خارج شوند. این حوضها نیز با اشکال مختلف با مقاطع مستطیل و دایره طراحی می شوند و در هر حال وسیله لجن روبی و تغلیظ مواد معلق، به منظور کاهش میزان اتلاف آب در طرح پیش بینی می گردد.

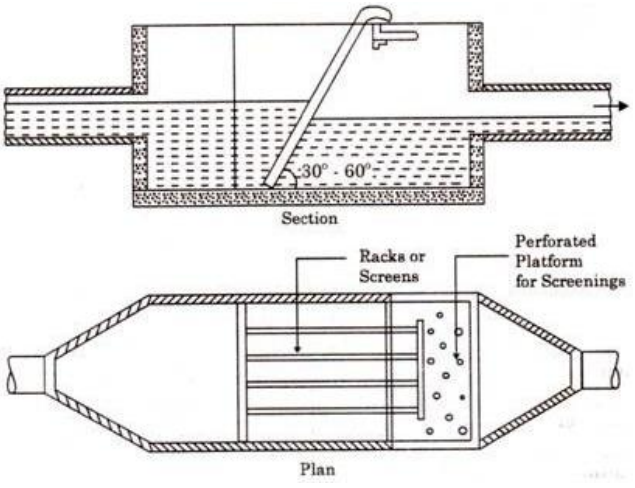
## آشغالگیر (screen)

در آبگیری از آبهای سطحی شاخ و برگ و الیاف و یا مواد دیگر شناور به وسیله شبکه های آشغالگیر از آب جدا می شوند. این شبکه ها مواد شناوری را که همراه آب است، در خود نگاه می دارند و مانع ورود آنها به بخش بعدی تصفیه خانه می شوند. آشغالگیر ممکن است در محل ورود آب به تصفیه خانه و یا ورود آب به تاسیسات انتقال آب به تصفیه خانه نصب شده باشد و در هر حال روزانه حداقل یک بار باید تمیز شود.

به طور کلی، اهداف آشغالگیرها به شرح زیر است:

۱- جداسازی و حذف مواد بزرگ حمل شده با آب خام که می توانند راندمان فرآیندهای بعدی تصفیه را تحت تاثیر قرار دهند و در عملکرد آنها مشکل ایجاد نمایند.

۲- حفاظت از واحدهای بعدی تصفیه خانه در مقابل اشیای بزرگ که می توانند سبب انسداد و صدماتی در برخی تجهیزات (پمپها و سایر وسایل مکانیکی و شیرها) شوند.




**شکل ۲۰- واحد آشغال گیری**

## انواع آشغالگیر

آشغالگیرها را بر اساس فضای باز بین میله ها تقسیم بندی می نمایند به:

آشغالگیر ریز: فضای باز بین میله ها کمتر از ۱۰ میلی متر است.

آشغالگیر متوسط: فضای باز بین میله ها بین ۱۰ تا ۴۰ میلی متر است.

آشغالگیر درشت: فضای باز بین میله ها بیشتر از ۴۰ میلی متر است.

به منظور افزایش راندمان تصفیه، آشغالگیرهای درشت تر در ابتدا و آشغالگیرهای ریزتر بعد از آنها در کانال هدایت آب قرار می گیرند. سرعت عبور آب از آشغالگیرهای میله ای در شرایط عادی باید به حدی باشد که باعث چسباندن مواد به آشغالگیرها شود بدون آنکه افت فشار زیاد ایجاد کند و یا سبب انسداد فضای خالی بین میله ها شود. معمولا سرعت قابل قبول بین میله های آشغالگیر در جریان متوسط حدود ۰/۶ تا ۱ متر بر ثانیه و برای جریان حداکثر بین ۱/۲ تا ۱/۴ متر بر ثانیه انتخاب می شود. درجه انسداد و گرفتگی در آشغالگیرها به کیفیت آب و روش پاکسازی آشغالگیر بستگی دارد.

روشهای پاکسازی عبارتند از:

الف- آشغالگیرهای میله ای با پاکسازی دستی

ب- آشغالگیرهای میله ای با پاکسازی اتوماتیک

آشغالگیرها به صورت ثابت در مسیر کانال‌های بتنی با زاویه نصب حدود ۱۵ تا ۳۰ درجه نسبت به خط عمود قرار می‌گیرند. در تصفیه خانه های کوچک (دبی جریان کمتر از ۱۰۰۰ متر مکعب بر روز) آشغالگیرهای به صورت دستی و در تصفیه خانه‌های بزرگ به صورت اتوماتیک تمیز می‌گردند.

در آشغال گیر با پاکسازی دستی، عملیات جمع آوری آشغال بصورت دستی می باشد. در تصفیه خانه های بزرگ، این نوع آشغال گیر در کنار آشغالگیر مکانیکی استفاده می شود. در زمانیکه آشغالگیر مکانیکی نیاز به تعمیر داشته باشد و یا به علت قطع برق امکان استفاده از اشغالگیر مکانیکی نباشد مورد استفاده قرارمی گیرد.

در آشغالگیرهای مکانیکی، شبکه آشغالگیر توسط یک بازوی مکانیکی که از یک سوییچ در بالادست آشغالگیر فرمان می گیرد، تمیز می شود. برخی ویژگیهای آشغالگیرهای مکانیکی عبارتند از:

- حداقل مقاومت در برابر جریان آب و کمک به استفاده موثرتر از کانال
- نگهداری و تعمیر آسان آشغالگیر

**شکل ۲۱- واحد آشغال گیری  با پاکسازی دستی**

**شکل ۲۲- واحد آشغال گیری  با پاکسازی مکانیزه**

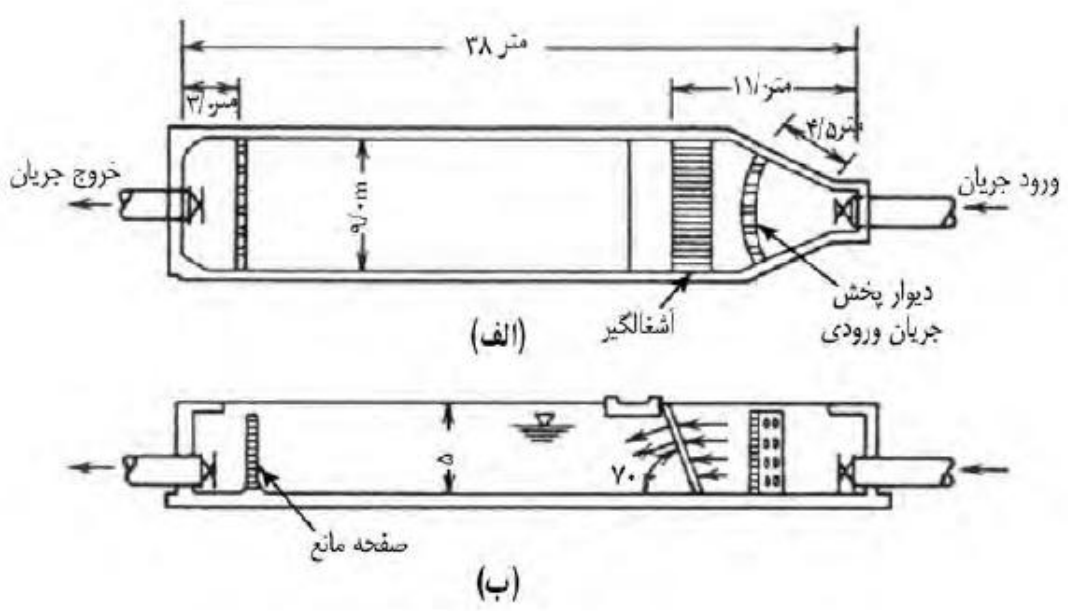
**شکل ۲۳- یک نمونه آشغال گیر**

## کانال دانه گیر

در تصفیه آب از اصطلاح دانه برای لای(سیلت)، ماسه، شن و سایر ذرات معدنی قابل ته نشینی استفاده می شود. کانال دانه گیر یک مخزن ته نشینی ساده است که در آن دانه های همراه با آب از طریق ته نشینی ثقلی جدا می شوند. هدف از ایجاد این واحد حذف دانه هایی است که به تلمبه ها و سایر تجهیزات مکانیکی آسیب وارد نموده و با حرکت در خطوط و مجاری انتقال، سبب خوردگی و رسوب گذاری آن ها می شوند. همانند سایر واحدهای پیش تصفیه این واحد را می توان در محل آبگیری و یا ابتدای تصفیه خانه به کار برد که معمولا استفاده از آن در محل آبگیر متداول تر است. این حوض ها را می توان به دو صورت دایره ای و مستطیلی به کار برد که نوع مستطیلی آن متداول تر است.

**معیارهای طراحی حوض دانه گیر در تصفیه خانه آب**

| متغیر | مقدار متداول |
|---|---|
| تعداد حوض | ۲ عدد همراه با کانال کنار گذر |
| عمق | ۳ تا ۵ متر |
| نسبت طول به عرض | حداقل ۴ به ۱ |
| نسبت طول به عمق | حداقل ۶ به ۱ |
| محدوده سرعت متوسط | ۳ تا ۴/۵ متر بر دقیقه |
| زمان ماند | ۶ تا ۱۵ دقیقه |
| بارگذاری سطحی | ۱۰ تا ۲۵ متر بر ساعت |




**شکل ۲۴- نمونه ای از کانال دانه گیر الف) تصویر افقی، ب) مقطع طولی**

## کلرزنی آب خام

هدف از کلرزنی آب خام، سالم سازی آب ورودی به تاسیسات به منظور اکسیداسیون و حذف نسبی آلاینده های آلی مولد بو و طعم نامطلوب، حذف نسبی آلاینده های معدنی مولد رنگ مانند :آهن، منگنز، فلزات سنگین

و ته نشینی آنها در مرحله زلال سازی و جلوگیری از رشد بعدی میکرو ارگانیسمها و گیاهان آبی در تاسیسات تصفیه خانه است.

## انعقاد و لخته سازی (Flocculation & Coagulation)

ذرات موجود در آب اگر از نوع ذرات ته نشین شونده باشند در اثر نیروی ثقل در حوضچه های مخصوص ته نشین می شوند. اگر ذرات از نوع ته نشین شونده نباشند، قبل از ورود به حوضچه ته نشینی باید با افزودن موادی به آنها تبدیل به لخته های بزرگتر شده تا قادر به ته نشینی باشند. به به عبارت دیگر، مواد منعقد کننده را به مقادیر لازم و کافی به آب اضافه می کنند تا ذرات کوچک، سبک و غیر قابل ته نشین، به ذرات بزرگتر و سنگین تر تبدیل شده و به آسانی ته نشین شوند.

آماده سازی شیمیایی ذرات کلوئیدی را اصطلاحا انعقاد می نامند و طی آن با افزودن مواد شیمیایی خاص، خصوصیات فیزیکی ذرات کلوئیدی را به شکلی که قابلیت ته نشینی بهتری داشته باشند، اصلاح می کنند.آماده سازی فیزیکی ذرات کلوئیدی برای ته نشینی بهتر را لخته سازی می نامند. این فرایند شامل به هم زدن ملایم آب است که طی آن ذرات کلوئیدی معلق برای تماس و چسبیدن به سمت همدیگر رانده می شوند. بنابراین لخته های بزرگ تری به وجود می آید که بهتر ته نشین می شوند.

مواد غیر قابل ته نشینی آب به دو دلیل در برابر ته نشینی مقاومت می نمایند:

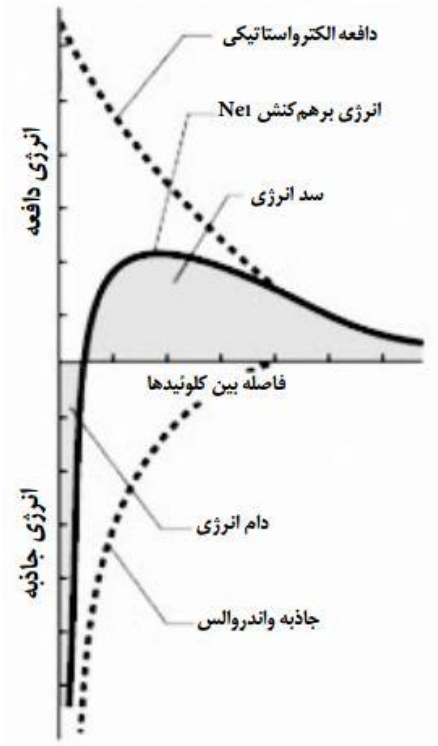
### الف) اندازه ذرات

ذراتی مانند گل و لای، میکروبها، ذرات مسبب رنگ و ویروسها به صورت کلوئیدی در آب وجود دارند. کلوئیدها در مدت زمان معقول و مناسبی ته نشین نمی گردند. همانطور که قبلا نیز اشاره شد، مواد کلوئیدی را نمی توان با چشم غیر مسلح دید ولی مجموع اثرات آنها اغلب به صورت رنگ یا کدورت در آب ظاهر می شوند.ذرات کلوئیدی بقدر کافی کوچک هستند تا از مراحل بعدی تصفیه عبور نمایند، مگر اینکه بوسیلهٔ روش انعقاد و لخته سازی از آب جدا شوند.

### ب) نیروی طبیعی میان ذرات:

معمولاً ذرات کلوئیدی دارای بار الکتریکی منفی بوده و یکدیگر را دفع می نمایند. در تصفیهٔ آب به این نیروی الکتریکی دافع پتانسیل زتا می گویند. این نیروی طبیعی کافی برای جدا نگه داشتن ذرات کلوئیدی از یکدیگر است و آنها را به صورت معلق در آب نگه می دارد. همچنین یک نیروی واندر والس میان تمام ذرات موجود در طبیعت وجود داشته و دو ذره را به طرف یکدیگر می کشاند .این نیروی جاذبه عکس پتانسیل زتا عمل می

کند و تا زمانی که پتانسیل زتا از نیروی واندر والس بزرگتر است ذرات به صورت معلق در آب باقی خواهند ماند. فرایند انعقاد و لخته سازی، نیروی دافعه میان ذرات غیر قابل ته نشینی را خنثی می کند و یا کاهش می دهد تا نیروی واندر والس ذرات را به طرف یکدیگر بکشد و تشکیل گروه های کوچک ذرات را بدهد. برای این منظور باید بر سد انرژی در شکل زیر غلبه نمود. این گروه های کوچک ذرات در اثر تکان دادن ملایم عمل انعقاد و لخته سازی ذرات به یکدیگر چسبیده و گروه های بزرگتر ذرات ژلاتینی شکل و نسبتاً سنگین را تشکیل می دهند که به آسانی ته نشین می شوند.




**شکل ۲۵- نیروی جاذبه و دافعه بین ذرات کلوئیدی در آب**

**مواد شیمیایی منعقد کننده:**

**۱- منعقد کننده های آلومینیوم دار مثل سولفات آلومینیوم**

که نام تجاری اش آلوم یا زاج سفید می باشد. با اضافه کردن به آب با بی کربنات کلسیم و آب واکنش داده، هیدروکسید آلومینیوم ایجاد می کند که هیدروکسید آلومینیوم، مرکزی را برای تجمع مواد کلوئیدی بدون بار ایجاد کرده و لخته های درشت تر ایجاد می کند. در صورت ناکافی بودن قلیائیت محیط برای ایجاد هیدروکسید

آلومینیم، از آب آهک و کربنات سدیم استفاده می شود. چون اسیدی بودن آب مانع تشکیل هیدروکسید آلومینیوم می شود. عیب مهم استفاده از زاج، ایجاد سختی کلسیم و دی اکسید کربن (عامل خورندگی) در آب می باشد.

**۲- کلرید فریک:**

از پر مصرف ترین منعقد کننده هاست و به صورت پودر ، مایع یا متبلور به فروش می رسد. در اثر واکنش با بی کربنات کلسیم یا هیدروکسید کلسیم، ایجاد هیدروکسید آهن III می کند که مرکزی برای تجمع مواد کلوئیدی به شمار می رود. کلرید فرید در مقایسه با آلوم گران تر است ولی لجن تولید شده در اثر رسوب لخته ها در حوضچه ته نشینی سبک تر از لجن ناشی از مصرف آلوم می باشد.

سایر منعقد کننده های مورد استفاده عبارتند از: آلومینات سدیم، سولفات فرو و سولفات فریک.

**کمک منعقد کننده ها:**

منعقد کننده های کمکی موادی شیمیایی هستند که همراه با منعقد کننده اصلی برای تشکیل ذرات محکم تر، با دوام تر، قابل ته نشین تر، جلوگیری از کاهش حرارت(عمل انعقاد را کند می نماید) و کاهش مقدار مادۀ منعقد کننده مصرفی به آب اضافه می گردد. یکی دیگر از دلایل مهم مصرف منعقد کننده های کمکی، کاهش مقدار سولفات آلومینیوم است که نهایتا مقدار لجن تولیدی را کاهش می دهد. چون خشک کردن و دفع لجن سولفات آلومینیوم خیلی مشکل است، از اینرو مصرف کمک منعقد کننده های کمکی مشکلات حمل و نقل ودفع لجن را به طور قابل توجهی کاهش می دهند.

چند نمونه از کمک منعقد کننده ها مورد استفاده در تصفیه خانه ها عبارتند از:

**کربنات سدیم:**

با تثبیت pH آب و افزایش یونهای $OH^-$، عمل انعقاد را بهبود می بخشد، مخصوصا اگر منعقد کننده مورد مصرف زاج باشد.

**آهک هیدراته:**

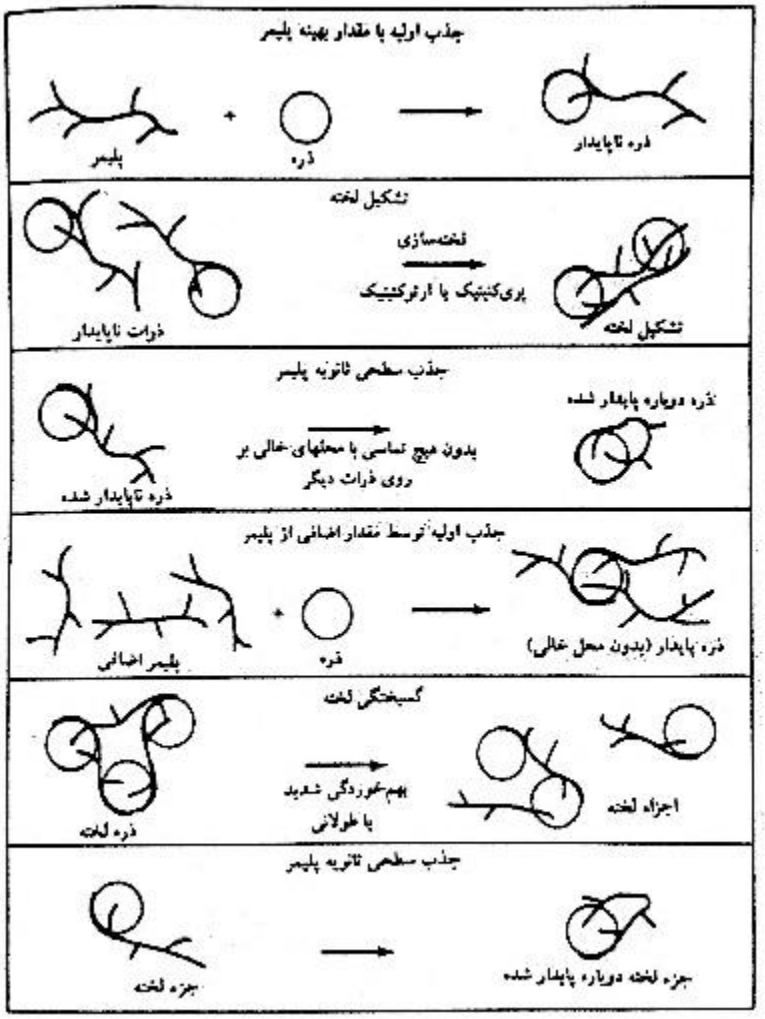
برای جبران کمبود قلیائیت محیط و از بین بردن دی اکسید کربن و کاهش سختی آب استفاده می شود.

**گاز کلر:**

از بین بردن مواد آلی موجود در آب که عامل ممانعت کننده در انعقاد هستند.

## پلی الکترولیتها:

دارای خواص پلیمر و الکترولیتی بوده، می توانند اندازه لخته ها را درشت تر نمایند. از دیگر موارد مورد استفاده، سیلیس فعال یا سدیم سیلیکات و بنتونیت (عامل پلاستیسیته کردن سرامیک) می باشد. واکنش بین پلیمرها با مواد کلوئیدی و تشکیل ذرات قابل ته نشین در شکل زیر نشان داده شده است.



به طور خلاصه انواع مواد منعقد کننده را می توان به شرح جدول ذیل دسته بندی نمود.

**انواع مواد شیمیایی منعقد کننده در آب یا فاضلاب**

| ماده شیمیایی | فرمول |
|---|---|
| آلوم | $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ |
| کلرید آلومینیوم | $AlCl_3$ |
| هیدروکسید کلسیم ( آهک) | $Ca(OH)_2$ |
| کلرید فریک | $FeCl_3$ |
| سولفات فریک | $Fe_2(SO_4)_3$ |
| سولفات فرو | $FeSO_4.7H_2O$ |
| آلومینات سدیم | $Na_2Al_2O_4$ |

## عوامل مؤثر در انعقاد

### ۱- pH و قلیائیت:

به علت حذف $H^+$ از محیط، برای ایجاد هیدروکسیدهای فلزی باید pH قلیایی باشد. برای تنظیم pH، اغلب از آب آهک استفاده می شود، ولی نباید در حدی باشد که باعث افزایش بی رویه سختی آب شود.

### ۲- مقدار ذرات معلق:

هرچه ذرات معلق بیشتر باشد، مصرف منعقدها هم بالا می رود.

### ۳- اثر عوامل فیزیکی:

با کاهش دما و نزدیک شدن به صفر، مشکلات جدی در امر انعقاد بوجود می آید و لخته شدن کاهش می یابد. به همین دلیل، مقدار مصرف منعقد کننده ها در تصفیه خانه ها در زمستان بیشتر از تابستان است.

### آزمایش جار:

جهت مطالعه عمل انعقاد و تعیین میزان مواد منعقد کننده و نیز انتخاب نوع مواد منعقد کننده و کمک منعقد کننده از آزمایش جار استفاده می‌شود. در این آزمایش مقدار و میزان مواد شیمیایی لازم جهت عمل انعقاد، مقدار pH مناسب و نیز مواد شیمیایی مورد نیاز تعیین می شود.

آزمون جار با استفاده از تعدادی ظروف شیشه ای که حداقل دارای یک لیتر گنجایش و از لحاظ اندازه و شکل یکسان هستند انجام می شود. معمولا از شش ظرف شیشه ای و یک دستگاه همزن که به طور همزمان محتویات همه ی ظرف ها را هم می زند استفاده می شود. هر یک از شش ظرف به مقدار یک لیتر از آبی که کدورت، قلیائیت و pH آن از قبل تعیین شده پر می شود. از یک ظرف شیشه ای به عنوان کنترل کننده استفاده می شود. در حالی که در ۵ ظرف باقی مانده در مقادیر مختلف pH مقدار متفاوتی منعقد کننده یا منعقد کننده ها را اضافه می کنند تا آنجا که حداقل مقادیر کدورت باقی مانده به دست آید.

پس از افزودن مواد شیمیایی آب به مدت یک دقیقه سریعا به هم زده می شود به نحوی که مواد شیمیایی به طور کامل در آب پخش شوند. سپس جهت تشکیل لخته ها به مدت ۱۵ الی ۲۰ دقیقه عمل به هم زدن به آرامی ادامه می یابد. پس از این مرحله به مدت ۳۰ دقیقه آب به حال آرام رها می شود تا زلال شدن اتفاق بیفتد. سپس قسمت هایی از آب حاصل تحت آزمون قرار می گیرد تا کدورت باقی مانده آن تعیین شود. نتایج به دست آمده از آزمایش برای تعین نوع و کمیت ماده منعقد کننده مصرفی در واحد تصفیه آب مورد استفاده قرار می گیرد. شکل (۱۰) آزمایش جار را نشان می دهد.

**شکل ۲۵- آزمایش جار**

**مراحل انعقاد:**

فرایند انعقاد شامل مراحل زیر است:

**- اختلاط سریع (Rapid mixing)**

فرایند های انعقاد و غیر محلول سازی هر دو نیازمند افزودن مواد شیمیایی به آب هستند. موفقیت این عمل تا حد زیادی به توزیع یکنواخت و سریع افزودنی های شیمیایی بستگی دارد. عمل پراکنده کردن و پخش سریع مواد شیمیایی در داخل آب را اختلاط سریع می نامند . واحد اختلاط سریع را می توان بر مبنای روش اختلاط (مکانیکی یا استاتیکی) و انواع الگوهای جریان(جریان پلاگ یا اختلاط کامل) دسته بندی نمود .در واحدهای اختلاط مکانیکی از یک پروانه استفاده می شود که با چرخش سریع آن اغتشاش شدیدی به وجود می آید. همزن های استاتیکی با استفاده از عواملی نظیر پرش هیدرولیکی، صفحه مانع ، جریان آشفته در داخل لوله یا کانال و یا انقباض و انبساط ناگهانی در خطوط لوله، تماس مناسب بین مواد شیمیایی و آب خام فراهم می کنند.

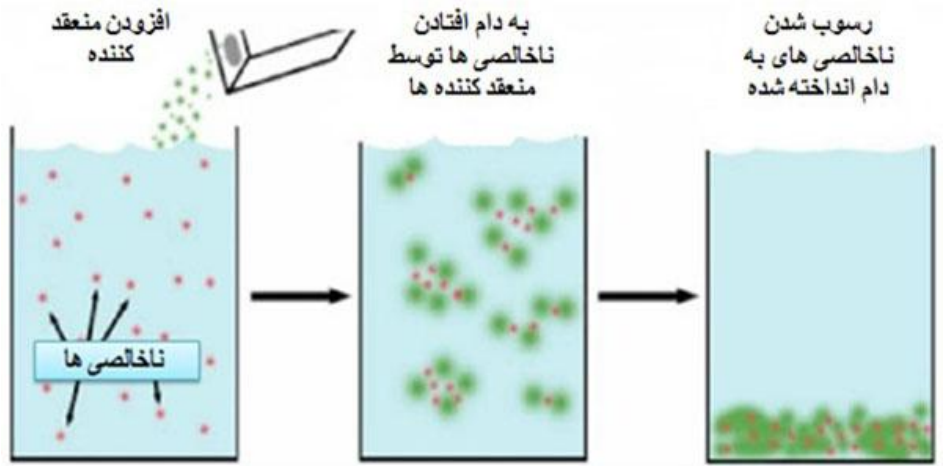
**- انعقاد (Coagulation) و لخته سازی(Flocculation)**

در حوضچه انعقاد و لخته سازی، شرایطی فراهم می شود که ذرات به یکدیگر چسبیده و تشکیل لخته دهند. زمان ماند برای تشکیل لخته ها ۲۰ دقیقه بوده و سرعت عبور آب از حوضچه نباید از ۰/۱۵ متر در دقیقه کمتر و از ۰/۴۵ متر در دقیقه بیشتر باشد. حوضچه های لخته ساز و حوض ته نشینی باید تا آنجا که ممکن است نزدیک یکدیگر باشند. در حوضچه لخته ساز از مخلوط کن پارویی یا تیغه ای که به آرامی در آب می چرخد استفاده می شود. این پاروها بطور افقی در جهت موازی یا متقاطع با جریان آب نصب می شوند. لخته ساز های پارویی شامل یک محور با بازوهای فولادی است که بر روی محور یک سری پاروی تیغه ای چوبی یا فلزی نصب شده است. محور با سرعت کم (۱۰۰-۶۰) دور در ساعت باعث یک حرکت بسیار ملایم در سیال می‌گردد و در نتیجه سبب تصادم و نزدیکی ذرات بهم خواهد شد. سرعت زیاد در حوضچه لخته ساز باعث شکسته شدن لخته های تشکیل شده خواهد شد.

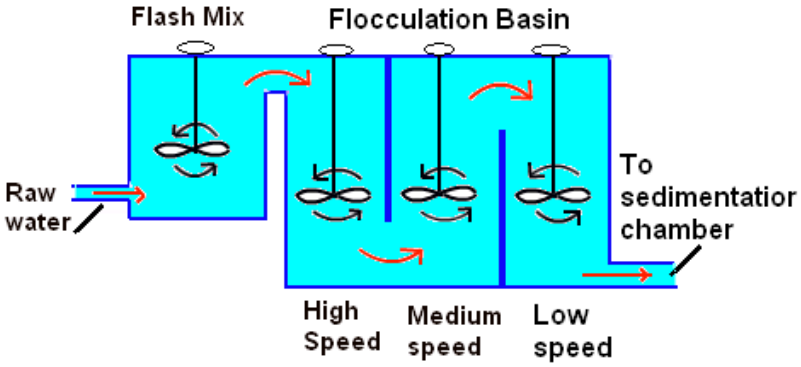
**- ته نشینی (Sedimentation)**

هدف از اختلاط سریع پخش فوری مواد منعقد کننده و کمک منعقد کننده مصرفی در کل آب ورودی به این مرحله است. بعد از فرآیند اختلاط سریع، عمل انعقاد و لخته سازی بایستی صورت پذیرد، چرا که انعقاد و لخته سازی مهمترین فرآیند حذف کلوئیدها هستند. یک سیستم کلوئیدی شامل ذرات جامد به صورت کاملاً مجزا از هم در یک ماده پراکنده است. این ذرات را فاز پراکنده شده می نامند. بعد از عمل انعقاد ذرات، عملیات لخته سازی بایستی انجام پذیرد. لخته سازی فرآیند به هم زدن آرام و مداوم آب است تا لخته ها تشکیل گردند. هدف از کاربرد این

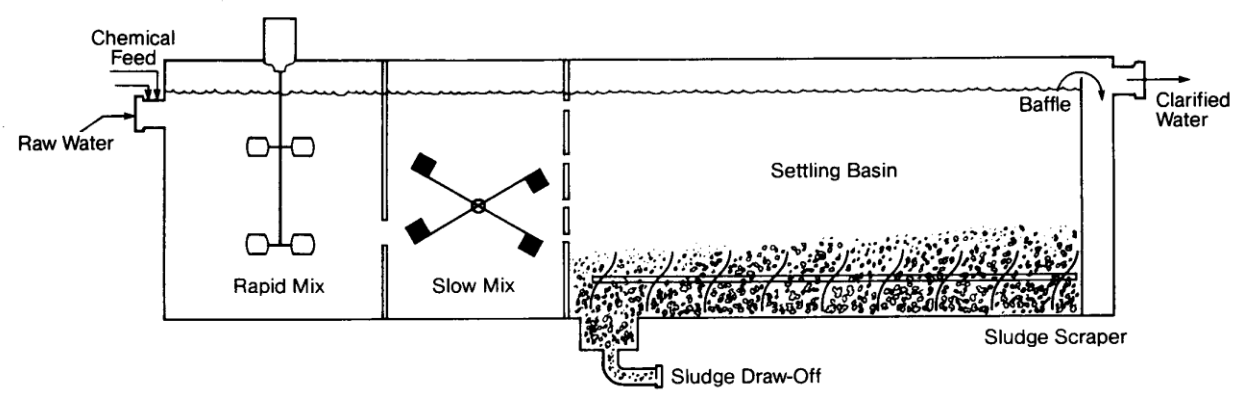
واحد، تشکیل لخته و سهولت جداسازی آنها به کمک ته نشینی و صاف سازی می باشد. راندمان واحد لخته سازی به شدت وابسته به تعداد برخوردهای ذرات ریز منعقد شده در واحد زمان است.




**شکل ۲۶- نحوه تبدیل مواد کلوئیدی به لخته های بزرگ با افزودن مواد منعقد کننده**

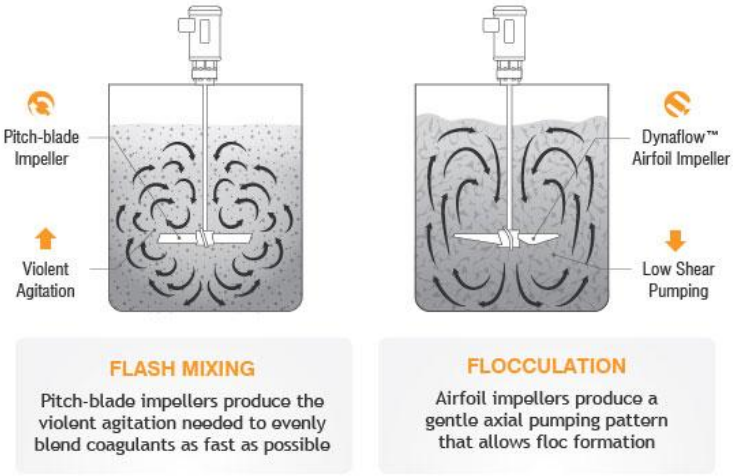



**شکل ۲۷- شماتیک واحد اختلاط سریع و لخته سازی در تصفیه خانه**

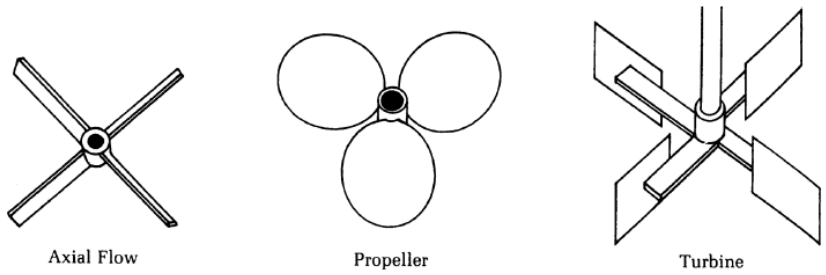



**شکل ۲۸- شماتیک نوعی دیگر از واحد اختلاط سریع، لخته سازی و حوضچه ته نشینی در تصفیه خانه**

**شکل ۲۹- واحد اختلاط سریع**

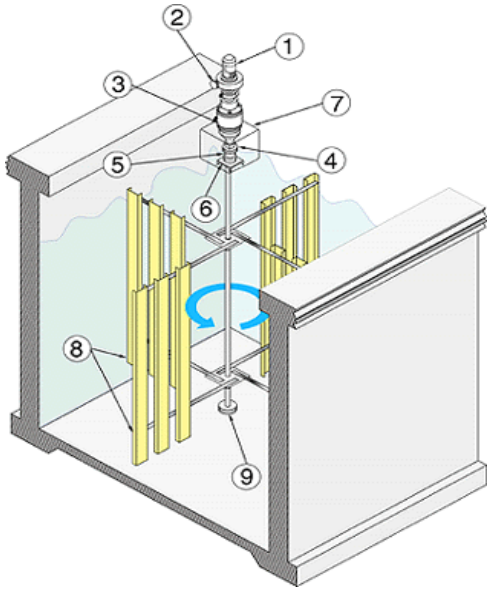



**شکل ۳۰- نحوه شکل گیری جریان در حوضچه اختلاط سریع و تانک لخته ساز**




**شکل ۳۱- انواع مختلف همزن در واحد اختلاط سریع و لخته سازی**

**شکل ۳۲- استفاده از همزن های پارویی در حوضچه انعقاد و لخته سازی**



**شکل ۳۳- نوعی دیگر از همزن های پارویی در حوضچه انعقاد و لخته سازی**

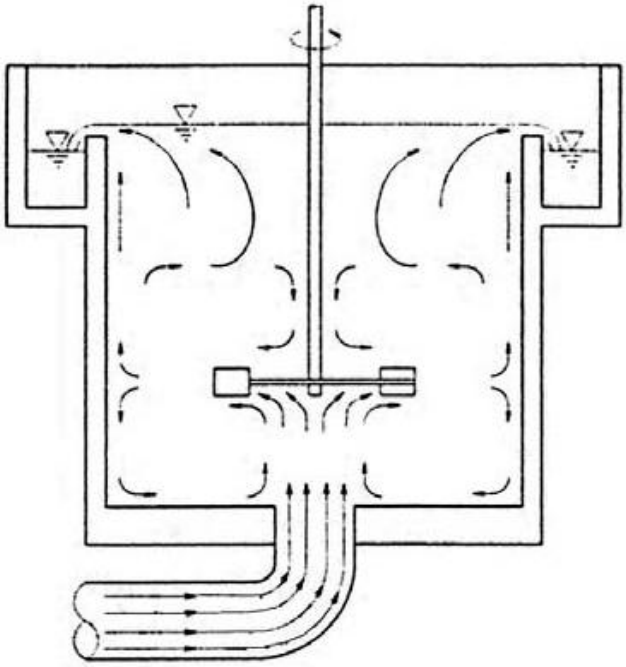
## هندسه حوض اختلاط سریع

هندسه حوض اختلاط سریع یکی از مهم ترین جنبه های طراحی این واحد می باشد .اولین مساله مهم در طراحی هندسه این واحد فراهم نمودن شرایطی است که در آن آب به صورت یکنواخت در کل فضای حوض اختلاط جریان یافته و فضاهای مرده و جریان های کوتاه چرخشی حداقل شود. در صورتی که از همزن های مکانیکی برای اختلاط سریع استفاده شود، معمولا هندسه مربع که نسبت عمق به عرض آن حدودا 2 است، طراحی می گردد . اندازه و شکل پروانه همزن باید متناسب با جهت جریان ورودی باشد.

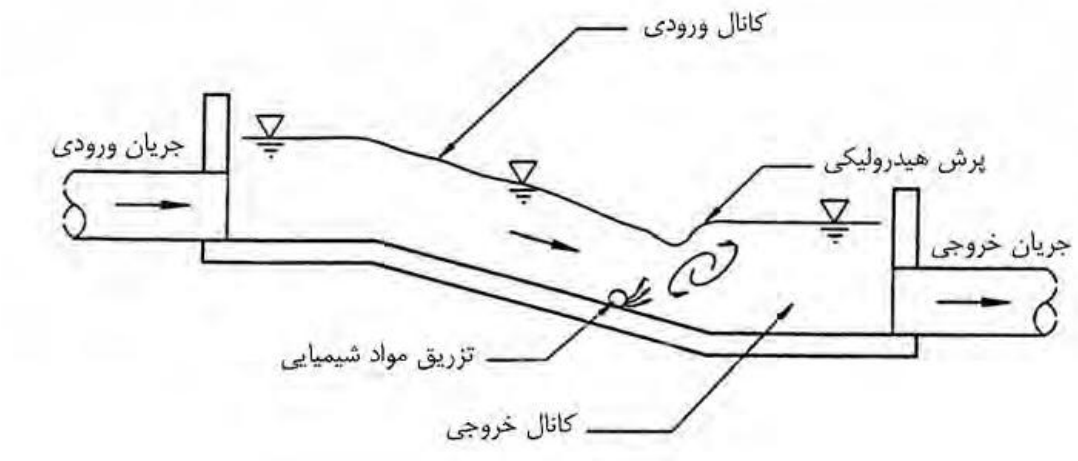
برای به حداقل رساندن تاثیرات جریان های کوتاه چرخشی می توان از واحدهای اختلاط سریع با الگوی جریان عمودی نیز استفاده نمود.

همزن های مکانیکی را نباید در مخازن استوانه ای به کار برد زیرا حوض های با مقطع دایره ای مقاومت اندکی در مقابل جریان های گردابی ایجاد می کنند که این امر میزان اختلاط را کاهش می دهد. برای کاهش جریان های گردابی و افزایش راندمان اختلاط در این مخازن از صفحه مانع استفاده می شود. بخاطر افت ناچیز به وجود

آمده، محاسبه افت ارتفاع در داخل این حوض ها از اهمیت چندانی برخوردار نیست. علاوه بر روش های مکانیکی از یک کانال با جریان آشفته، که در آن پرش هیدرولیکی ایجاد شده و طول کافی برای تامین زمان ماند را دارد نیز می توان به طور مطلوبی برای اختلاط مناسب مواد شیمیایی با آب استفاده کرد.



**شکل ۳۴- حوضچه اختلاط سریع با جریان رو به بالا و همزن مکانیکی**




**شکل ۳۵- اختلاط سریع با استفاده از پرش هیدرولیکی در کانال باز**

## گرادیان سرعت در واحد اختلاط سریع

در واحد اختلاط سریع، همزن ها آشفتگی مورد نیاز برای پخش مواد شیمیایی در کل حجم آب را فراهم می نمایند .واکنش مواد شیمیایی منعقدکننده معمولا سریع است، بنابراین پخش سریع این مواد قبل از کامل شدن واکنش مطلوب است .به منظور پخش همگن و سریع افزودنی های شیمیایی، همزن ها باید به نحوی طراحی شوند که در یک زمان کوتاه گرادیان شدیدی ایجاد نمایند و مواد شیمیایی نیز در نقطه ای که حداکثر گرادیان آشفتگی را دارد، افزوده شوند .در تصفیه خانه آب میزان آشفتگی در واحد اختلاط را با گرادیان سرعت می سنجند . برای همز نها، مقدار گرادیان سرعت از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$G = \sqrt{\frac{P}{V\,\mu}}$$

در این رابطه P توان هیدرولیکی داده شده به آب (نیوتن متر بر ثانیه)، حجم حوضچه (متر مکعب)، $\mu$ لزجت آب (نیوتن بر ثانیه بر متر مربع) و G گرادیان سرعت (یک بر ثانیه) می باشد.

مقدار گرادیان هیدرولیکی به عواملی همچون زمان ماند هیدرولیکی، مقدار تزریق مواد افزودنی و شکل هندسی حوض اختلاط بستگی دارد، ولی مقدار آن از $s^{-1}$ ۱۰۰ تا $s^{-1}$۱۰۰۰ تغییر می کند.

## زمان ماند در حوض های اختلاط سریع

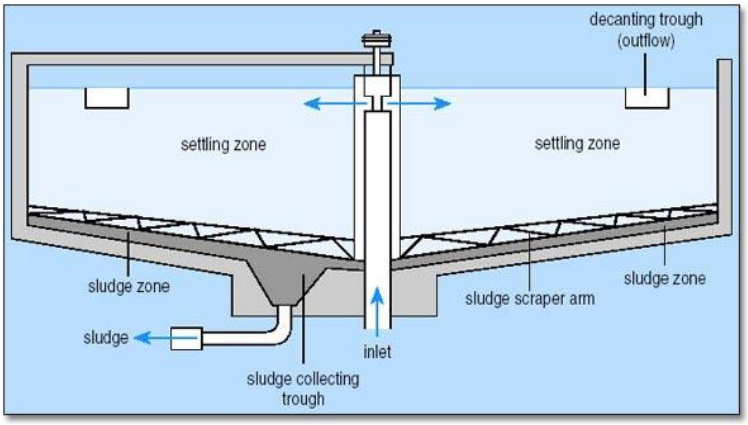
زمان ماند در حوض های اختلاط سریع باید به انداز ه ای باشد که زمان کافی برای پخش همگن مواد شیمیایی در آب و زمان کافی برای اینکه لخته ها به یک تعادل در اندازه برسند، را فراهم نماید .به این ترتیب زمان اختلاط سریع را تنها با انجام مطالعات آزمایشگاهی و یا استفاده از تجربیات موجود در تصفیه خانه های آبی که به لحاظ شیمیایی و بهره برداری متشابه هستند، تعیین می کنند. زمان ماند برای اختلاط سریع بین ۱۰ ثانیه تا ۵ دقیقه تغییر می کند(دامنه ۱۰ تا ۳۰ ثانیه متداو ل تر است). زمان ماند متوسط در واحد اختلاط سریع را به کمک رابطه زیر محاسبه می شود:

$$t = \frac{V}{Q}$$

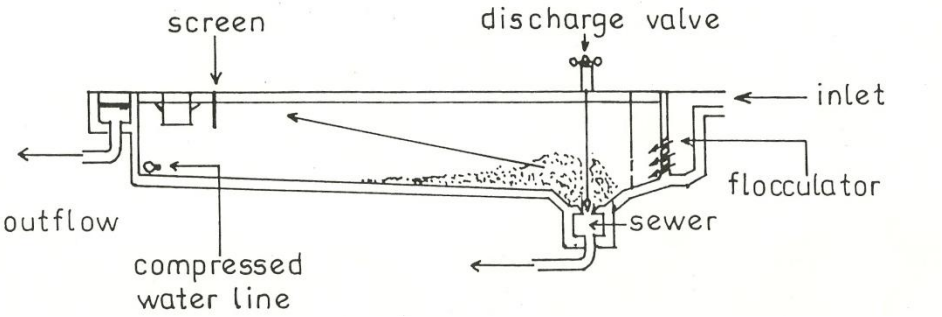
t زمان ماند متوسط (ثانیه)، Q دبی آب (متر مکعب بر ثانیه) و V حجم حوضچه می باشد.

برای رسیدن به اختلاط کافی در زمان ماند کوتاه تر، نیازمند گرادیان سرعت بالاتر خواهد بود و برعکس برای زمان ماند طولانی، گرادیان سرعت کمتری مورد نیاز است .بنابراین می توان از حاصل ضرب Gt که در بر دارنده هر دو متغیر زمان ماند و گرادیان سرعت است، به عنوان یک معیار مناسب استفاده کرد .مقدار معمول Gt در مسایل مربوط به اختلاط سریع در تصفیه آب شهری بین ۳۰۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ تغییر می کند.

با توجه به اینکه شکل و نحوه عملکرد حوضچه های پیش ته نشینی و حوضچه های ته نشینی یا زلال ساز ها در فرایند تصفیه آب یکسان بوده، در ادامه انواع مختلف این نوع حوضچه ها نشان داده شده است.




**شکل ۳۷- شماتیک تانک ته نشینی دایره ای**




**شکل ۳۸- شماتیک تانک ته نشینی مستطیلی**

**شکل ۳۹- تانک ته نشینی دایره ای و تیغه لجن روب کف**

**شکل ۴۰- تانک ته نشینی مستطیلی**

**شکل ۴۱- سرریز آب در تانک ته نشینی دایره ای**