اصول راهبری تصفیه‌خانه‌های آب

« سلسله مقالات آموزشی »

(مقاصد برنامه‌های مدیریت مخازن آب)

قسمت ششم

ترجمه: مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب

انعقاد و لخته‌سازی

ناخالصی‌های معلق در آب حاصل فرسایش خاک، حمل مواد معدنی و فساد مواد گیاهی است. ناخالصی‌های دیگر از آلاینده‌های هوا، پساب‌های صنعتی و مواد زاید حیوانی به وجود می‌آید. به این ترتیب، در آب‌های سطحی که توسط انسان و طبیعت آلوده می‌شوند، مواد آلی معلق و محلول (با منشأ گیاهی یا حیوانی) و مواد غیرآلی (معدنی) و موجودات زنده‌ای مثل باکتری و پلانکتون وجود دارد.

اندازه ذرات در آب (که به آنها مواد جامد معلق می‌گویند) بسیار متغیر است. ذرات بزرگتر مثل ماسه یا لای سنگین را می‌توان با آرام کردن جریان و ته‌نشینی گرانشی از آب جدا نمود. این مواد را مواد قابل ته‌نشین می‌نامیم. اگر آبهای سطحی برای مدتی در مخزن یا دریاچه‌ای به صورت ساکن ذخیره شوند، این مواد به طور طبیعی ته‌نشین می‌شوند. ذرات ریزتر، مثل باکتری‌ها و رس و لای ریز، به راحتی ته‌نشین نمی‌شود و باید آنها را با انجام عملیاتی به ذرات بزرگتر و ته‌نشین شدنی تبدیل نمود. این ذرات کوچکتر را غالباً غیر قابل ته‌نشین یا مواد کلوئیدی می‌نامیم.

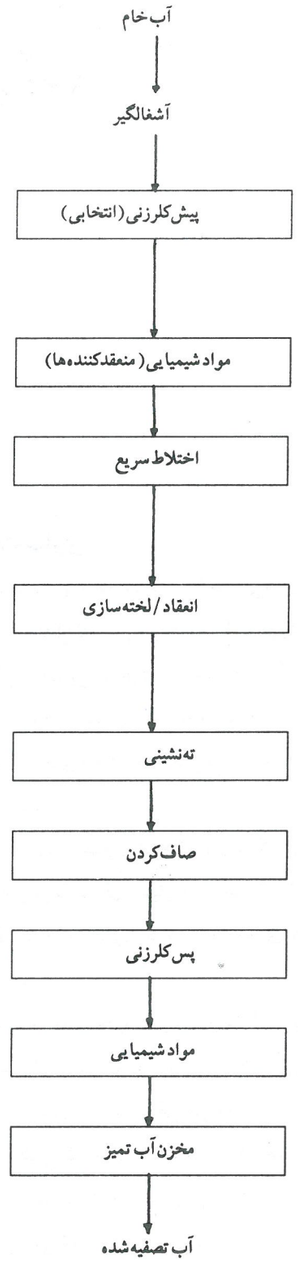
ضرورت انعقاد و لخته‌سازی

منظور از انعقاد و لخته‌سازی، جداساختن ناخالصی‌های معلق، به ویژه مواد جامد غیر قابل ته‌نشین و رنگ در آب مورد تصفیه است. ذرات غیر قابل ته‌نشین موجود در آب به کمک مواد شیمیایی منعقدکننده جدا می‌شوند. وقتی تکه‌های منعقد شده به یکدیگر بچسبند، لخته‌های بزرگتر و سنگین‌تری تشکیل می‌شود که ته‌نشین خواهد شد.

۱- ذرات معلق، مواد جامد بسیار ریز معلق در آب که از نظر اندازه، شکل، دانسیته و بارالکتریکی بسیار متنوع‌اند. ذرات کلوئیدی و پراکنده را توسط فرایندهای انعقاد و لخته‌سازی به طور مصنوعی مجتمع می‌کنند.

۲- مواد کلوئیدی، مواد جامد خیلی ریز و جدا از هم (ذراتی که حل نمی‌شوند) که بر اثر اندازه ریز و بار الکتریکی خود برای مدتی طولانی در سیال پراکنده باقی می‌مانند. اگر بیشتر ذرات در آب بار الکتریکی منفی داشته باشند، غالباً یکدیگر را دفع می‌کنند. این نیروی دافعه مانع چسبیدن ذرات به یکدیگر می‌شود و ته‌نشین نمی‌شوند.

۳- انعقاد، چسبیدن ذرات ریز به یکدیگر و تشکیل ذرات (لخته) بزرگتر بر اثر مواد شیمیایی (منعقدکننده) مواد شیمیایی



شکل ۱ - نمودار فرایند تصفیه، خانه نمونه‌وار

منعقدکننده بارهای الکتریکی ذرات ریز را خنثی کرده و سبب بی ثباتی ذرات می‌شوند. به هم چسبیدن ذرات کار جداسازی آنها را از آب توسط ته‌نشینی، جمع‌آوری از سطح آب، تخلیه یا صافی کردن آسانتر می‌کند.

در فرایند انعقاد از نوعی مواد شیمیایی استفاده می‌شود که ذرات را ابتدا بی‌ثبات کرده و به یکدیگر می‌چسباند این ذرات گرد هم می‌آیند تا در فرایند لخته‌سازی ذرات بزرگتری تشکیل دهند (شکل ۱ را ببینید).

به جز مواد معدودی، همه آبهای سطحی را باید تصفیه نمود تا رنگ و ناخالصی‌های آن قبل از انتقال به شبکه توزیع از آن جدا شود.

اصطلاح انعقاد به آن اثری اطلاق می‌شود که بر اثر افزودن مواد شیمیایی در آب خام بر رفتار مواد جامد غیر قابل ته‌نشین یا موادی که با سرعت کمتری ته‌نشین می‌شوند ایجاد شود. این ذرات ریز به تدریج به ذرات بزرگتر و سنگین‌تری تبدیل می‌شوند که با روش رسوب‌گذاری و صاف کردن از آب جدا می‌شوند.

همزنی مواد منعقدکننده و آب خام مورد تصفیه را اختلاط سریع می‌نامند. منظور اصلی از فرایندهای اختلاط سریع مخلوط کردن سریع و توزیع یکسان مواد منعقدکننده در تمام آب است. این فرایند در مدت کوتاهی (چند ثانیه) انجام می‌شود و نتیجه اولیه آن تشکیل ذرات خیلی کوچک است.

مواد منعقدکننده

مواد منعقدکننده‌ای که عملاً در تصفیه به‌کار می‌برند یا منعقدکننده، اولیه‌اند یا مواد کمکی انعقاد. منعقدکننده‌های اولیه را برای بی‌ثبات کردن و بهم چسبیدن ذرات به‌کار می‌برند، اما منظور از مواد منعقدکنند، کمکی افزایش دانسیته لخته‌سازی کمتر ته‌نشین نشدنی و بالا بردن استحکام لخته‌ها به‌گونه‌ای است که در فرایندهای بعدی تکه تکه و از هم جدا نشوند. بنابراین تعریف، مواد کمکی را می‌توان مواد کمکی در لخته‌سازی یا رسوب‌گذاری نامید.

نمکهای فلزی سولفات آلومینیم (که عموماً آن را زاج می‌نامند)، سولفات فریک، سولفات فرو، و پلیمرهای[1] آلی مصنوعی (کاتیونی، آنیونی، غیر یونی) مواد منعقدکننده متداول در تصفیه آب هستند. چون این مواد مؤثرند، نسبتاً کم هزینه‌اند، در بازار فراوان وجود دارند و کار با آنها، نگهداری و استفاده از آنها آسان است.

وقتی نمکهای فلزی مثل سولفات آلومینیوم یا سولفات فریک به آب افزوده می‌شود. مجموعه‌ای از واکنش‌ها با آب و یا یونهای دیگر در آب اتفاق می‌افتد. مقدار مواد شیمیایی افزوده شده به آب به اندازه‌ای باشد که بیش از حد حلالیت هیدروکسید فلز باشد و در نتیجه یک ماده ترسیبی (لخته) تشکیل شود. لخته تشکیل شده جذب ذرات (کدری) آب می‌شود.

پلیمرهای آلی سنتزی (کاتیونی، آنیونی، غیر یونی) مورد استفاده در تصفیه آب از یک زنجیره بلند از واحدهای کوچکتری به نام " منومر " تشکیل می‌شوند. زنجیره پلیمری می‌تواند ساخت خطی یا چند شاخه داشته باشد، که طول آن کمتر از میکرون (۰/۰۰۱ میلیمتر) تا ۱۰ میکرون متغیر است. کل تعداد منومرها در هر پلیمر را می‌توان تغییر داد تا موادی با وزنهای ملکولی[2] مختلف بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰۰ تشکیل شود.

پلیمرهایی که معمولاً در تصفیه آب مورد استفاده قرار می‌گیرند دارای گروهها عامل در هر واحد منومری (گروههای کربوکسیل، آمینه، سولفوریک) هستند و نام کلی آنها " پلی‌الکترولیت " است. پلیمرهایی را که در واحدهای منومری آنها گروههای دارای بار مثبت وجود دارد پلی‌الکترولیت کاتیونی می‌نامند، ولی متغیرهای دارای گروههای با بار منفی را پلی‌الکترولیتهای آنیونی می‌نامند. پلیمرهایی که فاقد گروههای عامل باشند پلیمرهای غیر یونی می‌نامند.

پلیمرهای کاتیونی قادرند جذب ذرات دارای بار منفی (کدری) شده و بار الکتریکی خود را از این رهگذر خنثی کنند. علاوه بر این، این گونه پلیمرها می‌توانند یک پل بین ذرات تشکیل دهند که ذرات را در خود جمع می‌کند (به دام

۱- پلیمر، یک ماده شیمیایی که با بهم پیوستن تعداد زیادی منومر (ملکولی با وزن ملکول کم) تشکیل می‌شود. همه پلی‌الکترولیتها پلیمر هستند ولی همه پلیمرها پلی الکترولیت نیستند.

۲- وزن مولکولی - وزن ملکولی بر ترکیب بر حسب گرم عبارتست از جمع وزنهای اتمی عناصر موجود در ترکیب ، وزن مولکولی اسید سولفوریک (H_2SO_4) ۹۸ گرم است.

می‌اندازد). پلیمرهای آنیونی و غیر یونی هم پل بین ذره‌ای تشکیل می‌دهند، که این امر به جمع‌آوری و جداسازی ذرات از آب کمک می‌کند.

زاج شاید متداول‌ترین ماده شیمیایی منعقدکننده باشد، اما پلیمرهای کاتیونی را در تصفیه آب هم به منزله منعقدکننده اولیه (به جای زاج یا دیگر نمکهای فلزی) و هم به منزله منعقدکننده کمکی (همراه با زاج و نمکهای فلزی دیگر) به کار می‌برند. پلیمرهای آنیونی و غیر یونی هم در بعضی از کاربست‌ها به منزله ماده کمکی منعقدکننده یا ماده کمکی در صاف کردن مؤثر واقع شده‌اند.

یکی از مشکلاتی که متصدی تصفیه‌خانه آب در انتخاب پلیمر مناسب با آن روبرو است وجود تعداد زیادی پلیمر در بازار است که هیچ روش همگانی برای ارزیابی و انتخاب آنها وجود ندارد. به این ترتیب، متصدی باید در انتخاب و استفاده از پلیمرها احتیاط کرده و ملاحظات زیر را در مصرف پلیمرها در نظر بگیرد:

۱- مصرف بیش از حد پلیمر اثر معکوس بر کارایی انعقاد دارد و اگر به عنوان ماده کمکی برای صاف کردن از آن استفاده شود، مصرف بیش از حد آن باعث سرعت در افزایش افت هد می‌شود؛

۲- همه منابع آب را نمی‌توان به طور یکسان و یکنواخت تصفیه نمود؛

۳- بعضی از پلیمرها در حضور کلر باقیمانده اثر خود را از دست می‌دهند؛

۴- مصرف بعضی از پلیمرها باید محدود باشد. متصدی باید مقدار بی خطر مصرف پلیمر را از سازنده آن سؤال کند.

چون استانداردهای جهانی برای انتخاب و مصرف پلیمرهای آلی وجود ندارد، متصدی باید مراقب باشد که فقط آن پلیمرهایی را انتخاب کند که سازمانهای قانونگذاری فدرالی و ایالتی برای مصرف در تصفیه آبهای آشامیدنی تأکید کرده‌اند. وی باید از فروشنده، این مواد نیز بخواهد که تأییدکتبی

جدول ۱ - مواد شیمیایی منعقدکننده مورد استفاده در تصفیه آب.

نام ماده شیمیایی	فرمول شیمیایی	منعقدکننده اولیه	ماده کمکی منعقدکننده
سولفات آلومینوم	$Al_2(SO_4)_3.14H_2O$	×	
سولفات فرو	$FeSO_4.7H_2O$	×	
سولفات فریک	$Fe_2(SO_4)_3.9H_2O$	×	
کلرید فریک	$FeCl_3.6H_2O$	×	
پلیمر کاتیونی	متنوع	×	×
هیدروکسید کلسیم	$Ca(OH)_2$	×الف	×
اکسید کلسیم	CaO	×الف	×
آلومینات سدیم	$Na_2Al_2O_4$	×الف	×
بنتونیت	رس	×الف	×
کربنات کلسیم	$CaCO_3$		×
سیلیکات کلسیم	Na_2SiO_3		×
پلیمر آنیونی	متنوع		×
پلیمر غیر یونی	متنوع		×

الف - فقط در فرایندهای زدایش سختی آب به منزله منعقدکننده اولیه به کار می‌رود.

در مورد مجاز بودن مصرف آن را ارائه نماید. بسیار از فروشندگان تجربه زیادی در تصفیه آبهای مختلف دارند و شاید بتوانند بهترین نوع پلیمر برای هر تصفیه‌خانه خاص را توصیه کنند.

سازمان حفظ محیط زیست آمریکا فهرست پلیمرهای مورد تأیید برای مصرف در تصفیه آبهای آشامیدنی را منتشر می‌کند. این فهرست در بردارنده نام تولیدکننده و حداکثر غلظت توصیه شده هر پلیمر است. در جدول ۱ فهرست منعقدکننده‌های اولیه و موادکمکی انعقاد ارائه شده است.

شیمی پایه مواد منعقدکننده

نظریه انعقاد خیلی پیچیده است. اما، در بحث حاضر در باره شیمی انعقاد سعی کرده‌ایم کمک کنیم تا شما فرایند انعقاد را درک کنید.

انعقاد یک واکنش فیزیکی و شیمیایی است که بین قلیائیت[1] آب و ماده منعقدکننده‌ای که به آب افزوده می‌شود رخ می‌دهد و در نتیجه آن لخته‌های حل نشدنی تشکیل می‌شود.

pH آب تعیین کننده این است که کدام گونه هیدرولیز (ترکیبات شیمیایی) در هر نوع از ماده انعقادی (مثل سولفات آلومینوم یا زاج) حاکم و غالب خواهد بود. pH پایین‌تر اغلب به نفع انواع مواد دارای بار مثبت است که برای واکنش با مواد کلوئیدی و ذرات معلق دارای بار منفی مطلوب است و در نتیجه آن لخته‌های حل نشدنی تشکیل شده و ناخالصی‌های آب از آن جدا می‌شود.

بهترین مقدار pH برای انعقاد اغلب در گستره ۵ تا ۷ واقع می‌شود. حد pH باید در گستره مناسب حفظ شود زیرا مواد منعقدکننده عموماً با قلیائیت آب واکنش می‌کنند. قلیائیت باقیمانده در آب بافر[2] به حفظ pH سیستم کمک می‌کند و در ترسیب کامل مواد شیمیایی منعقدکننده نیز کمک می‌کند. مقدار قلیائیت از آب خام به طور کلی مشکلی ایجاد نمی‌کند مگر آن که در حد خیلی پایین باشد. با افزودن آهک یا خاکستر سودا می‌توان مقدار قلیائیت را بالا برد.

معمولاً پلیمرها را برای آن در فرایند انعقاد مصرف می‌کنند که سبب تشکیل لخته‌های حل نشدنی شده و یا به آن کمک کند.

معمولاً چنین است که متصدی هیچ نقشی در کنترل pH و قلیائیت آب خام ندارد. بنابراین، ارزیابی و آگاهی از این شاخص‌ها نقش مهمی در انتخاب نوع مواد منعقدکننده مورد استفاده در تصفیه‌خانه او، یا در تغییر نوع منعقدکننده‌ای که معمولاً استفاده می‌شود خواهد داشت. تغییر نوع منعقدکننده در صورتی لازم خواهد بود که تغییر عمده‌ای در pH و قلیائیت آب خام به وجود آید.

گاه قلیائیت طبیعی آب خام آن قدر کم است که نمی‌تواند سبب ترسیب کامل زاج شود. در چنین حالتی اغلب به آب آهک اضافه می‌کنند تا ترسیب کامل انجام شود. در مورد pH نیز باید مراقبت شود که در حد مطلوب باقی بماند.

مصرف بیش از حد و مصرف ناچیز مواد منعقدکننده ممکن است کارایی جداسازی مواد جامد را کمتر کند. اگر آزمایش جار به دقت انجام شود و پس از ایجاد تغییرات در کارکرد فرایند انعقاد و تثبیت فرایند می‌توان این شرایط را اصلاح نمود.

ملاحظاتی پیرامون عملکرد فرایند

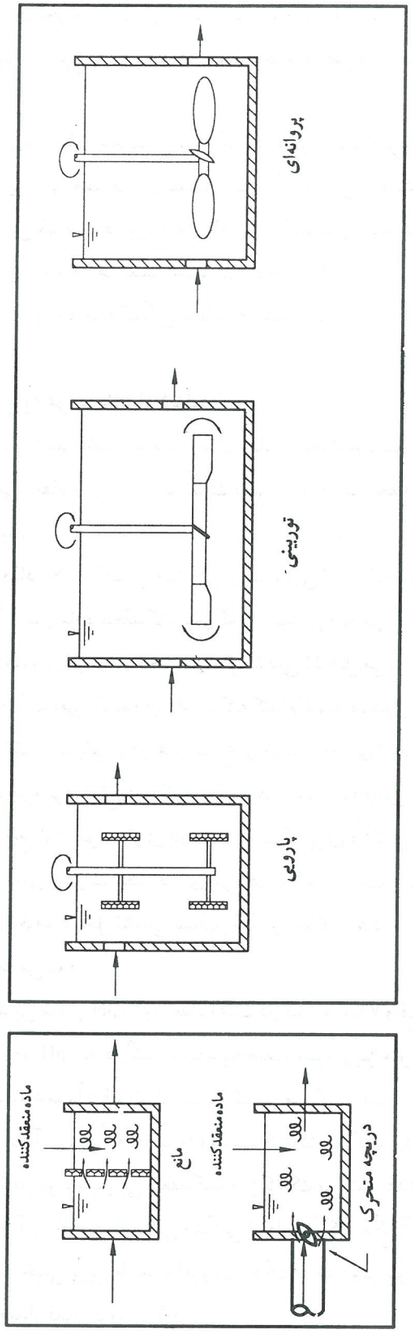
روشهای همزنی

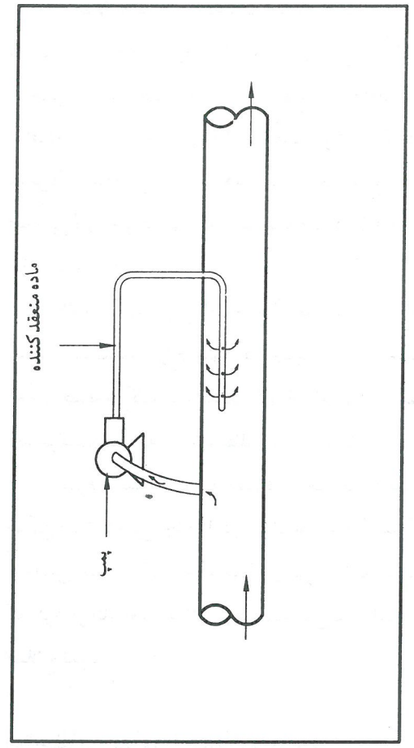
در تصفیه‌خانه‌های مدرن، بهتر است واکنش انعقاد (همزنی مواد شیمیایی با آب) در کوتاه‌ترین زمان ممکن کامل شود. ترجیحاً در مدت چند ثانیه چون زمان واکنش خیلی کوتاه است. چند روش برای همزنی مواد شیمیایی با آب تحت تصفیه قابل استفاده است.

۱- همزنی هیدرولیکی به کمک انرژی جریان در سیستم
۲- همزنی مکانیکی
۳- افشانک و شبکه توری

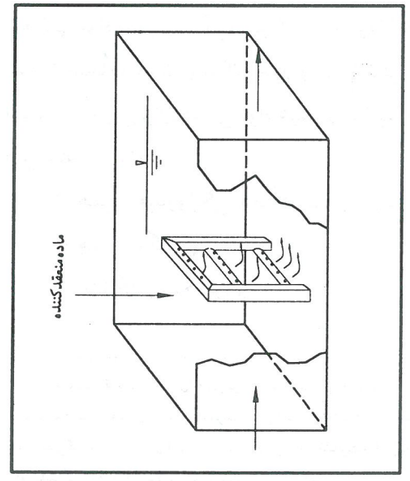
۱- قلیائیت، قابلیت آب برای خنثی کردن اسید است. این قابلیت در آب متأثر از مقدار کربنات، بیکربنات، هیدروکسید، و گاه اثرات، سیلیکات و فسفات در آب است. قلیائیت را بر حسب میلی‌گرم در لیتر هم ارز کربنات کلسیم بیان می‌کنند. قلیائیت و pH یکی نیستند چون الزاماً نباید آب بازی (pH بالا) باشد تا قلیائیت آن بالا باشد.
قلیائیت عبارت است از مقدار اسیدی که باید به مایع افزوده شود تا pH آن به ۴/۵ برسد.

۲- بافر یا مایع حائل، محلول یا مایعی که ساختار شیمیایی آن اسید یا باز را خنثی می‌کند ولی در pH آن تغییر عمده‌ای ایجاد نمی‌شود.





شکل ۲- انواع روش‌های اختلاط سریع.



۴- مخلوط کنهای پمپ‌دار

۱- آزمایش جار: یک روش آزمایشگاهی که در آن واحدهای انعقاد / لخته‌سازی تصفیه‌خانه آب شبیه‌سازی شده و مقادیر مختلف از مواد شیمیایی و مقادیر متفاوت انرژی همزنی سریع، انرژی همزنی کند، و زمان ته‌نشینی در آن آزمایش می‌شود. منظور از این روش برآورد حداقل مقدار ماده منعقد کننده برای اهداف کیفی خاصی در تصفیه آب است.

نمونه‌های آب تحت تصفیه را در شش بشر ریخته و به هر یک مقدار مختلفی از ماده شیمیایی افزوده می‌شود، سپس همزنی شده و مرحله ته‌نشینی مورد مشاهده قرار می‌گیرد. آن مقدار از مواد شیمیایی که ته‌نشینی آن رضایت‌بخش باشد، و کدری و یا رنگ را نیز به اندازه مطلوب برطرف کند، مقداری است که باید برای تصفیه آب ورودی به تصفیه‌خانه در همان زمان مورد استفاده قرار گیرد. برای ارزیابی نتایج آزمایش جار، متصدی باید کیفیت لخته در منطقه لخته‌سازی و کیفیت لخته گذاری روی صافی را نیز بررسی کند.

انواع همزن

برای آن که انعقاد و لخته‌سازی به طور کامل انجام شود، باید ماده منعقدکننده با تمام ذرات معلق تماس پیدا کند. این تماس با همزنی آنی ممکن می‌شود.

همزنی مناسب را می‌توان با چند نوع مختلف دستگاههای همزن انجام داد (شکل ۲). همزنی هیدرولیکی با مانع یا شیرها در سیستمهایی خوب کار می‌کند که سرعت آب در آنها به اندازه‌ای است که در آب تحت تصفیه اغتشاش ایجاد کند. آشفتگی در آب جاری مواد شیمیایی را با آب مخلوط می‌کند. از همزن‌های مکانیکی (پارو، توربین، و پروانه) نیز غالباً در تأسیسات انعقاد استفاده می‌شود. همزنهای مکانیکی چند منظوره، قابل استفاده در همه جا و قابل اعتماد هستند؛ اما مصرف برق در آنها بیش از دیگر وسایل است.

از افشانک و سیستمهای توری‌دار که از لوله‌های سوراخ‌دار یا آب پاش ساخته شده‌اند می‌توان برای پخش کردن ماده انعقادکننده در آب استفاده نمود. این سیستمها می‌توانند ماده منعقدکننده را در تمام حوضچه انعقاد به طور یکنواخت توزیع کنند، اما عموماً نسبت به تغییر جریان حساس هستند و در صورت بروز تغییر باید آنها را تنظیم نمود تا همزنی را به خوبی انجام دهد.

مخلوط کنهای پمپ‌دار نیز در تأسیسات انعقاد به کار گرفته شده‌اند، در این سیستمها، ماده منعقدکننده را از طریق افشانکی که در داخل یک لوله قرار دارد به طور مستقیم در آب می‌ریزند. این سیستم می‌تواند ماده منعقدکننده را به سرعت پخش کند و افت هد[1] چندانی در سیستم ایجاد نمی‌کند. مصرف برق در این دستگاهها کمتر مشابه‌های مکانیکی است.

حوضچه‌های انعقاد

همزنی ماده شیمیایی منعقدکننده را می‌توان در مخزن مکعبی مخصوص که دارای دستگاههای همزنی است به خوبی انجام داد. اگر سرعت جریان آب کافی باشد تا آشفتگی لازم در جریان ایجاد شود، ماده شیمیایی را می‌توان در کانال ورودی یا خط لوله ورودی به حوضچه لخته‌سازی نیز مخلوط کرد. شکل حوضچه به طراحی حوضچه اختلاط سریع بستگی دارد.

۱- افت هد، هد، فشار یا انرژی است که آب در لوله یا کانال در نتیجه آشفتگی حاصل از سرعت جریان و زبری لوله، دیواره کانال یا تنگ شدگیهای اتصالات از دست می‌دهد. آب در حال حرکت در لوله به علت افت‌های اصطکاکی هد، فشار یا انرژی خود را از دست می‌دهد.

چند پرسش

۱- منظور از انعقاد و لخته‌سازی چیست؟

۲- در فرایندهای انعقاد و لخته‌سازی چه اتفاق می‌افتد؟

۳- هدف اصلی از فرایند اختلاط سریع چیست؟

۴- چرا در فرایند انعقاد هم از منعقدکننده اولیه و هم از مواد کمکی انعقاد استفاده می‌شود؟

۵- چهار روش همزنی مواد شیمیایی در جریان آب را نام ببرید.

۶- دستگاه همزنی هیدرولیکی را شرح دهید.