

تئوری انعقاد و لخته سازی

در تصفیه آب

مولفان:

دکتر محمدهادی مهدی نژاد

دانشیار دانشگاه علوم پزشکی گلستان

دکتر مهدی صادقی

استادیار دانشگاه علوم پزشکی گلستان



انتشارات دانشگاه علوم پزشکی گلستان

سرشناسه: مهدی‌نژاد، محمدهادی، ۱۳۴۵ -
عنوان و نام پدیدآور: تئوری انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه آب/ تالیف محمدهادی مهدی‌نژاد،مهدی صادقی.
مشخصات نشر: گرگان: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی‌درمانی گلستان،معاونت پژوهشی، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری: ۱۹۷ص.: مصور،جدول،نمودار.
شابک: ۹-۱-۹۵۴۷۳-۶۰۰-۹۷۸ وضعیت فهرست نویسی: فیپا
موضوع: آب – تصفیه
موضوع: آب -- تصفیه -- انعقاد
موضوع: آب -- تصفیه -- کلرزنی
شناسه افزوده: صادقی، مهدی، ۱۳۵۸ -
شناسه افزوده: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی گلستان
رده بندی کنگره: TD۴۳۰/م۸۵ت۹ ۱۳۹۴
رده بندی دیویی: ۰۱/۶۲۸
شماره کتابشناسی ملی: ۳۹۵۴۱

نام کتاب:	تئوری انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه آب
تألیف:	دکتر محمدهادی مهدی‌نژاد، دکتر مهدی صادقی
ناشر:	دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی استان گلستان
ناشر همکار:	آوای قلم(۵-۶۶۵۹۱۵۰۴-۰۹۱۲۶۱۵۷۷۵۱)
نوبت چاپ:	اول- پاییز ۹۴
چاپ:	آوای قلم
صفحه آرایی:	آوای قلم
تیراژ:	۱۰۰۰ جلد
شابک:	۹-۱-۹۵۴۷۳-۶۰۰-۹۷۸
قیمت:	۱۲۰۰۰۰ریال
سایت: http://www.goums.ac.ir	

انتشارات دانشگاه علوم پزشکی گلستان

گرگان- ابتدای جاده شصت کلا – مجموعه آموزشی فلسفی
تلفن: ۰۱۷۳۲۴۲۱۶۶۰
آدرس انتشارات آوای قلم: تهران ـ میدان انقلاب ـ خیابان کارگر شمالی ـ ابتدای خیابان نصرت ـ کوچه باغ نو کوچه داوود آبادی شرقی ـ پلاک ۴- زنگ دوم تلفن: ۵-۶۶۵۹۱۵۰۴- ۰۲۱ همراه:۰۹۱۲۶۱۵۷۷۵۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ۹
مقدمه ۱۰

فصل اول: مقدمه ای بر تصفیه آب

۱-۱ مقدمه ۱۲
۱-۲ منابع آب ۱۳
۱-۲-۱ آب‌های زیرزمینی ۱۳
۱-۲-۲ آب‌های سطحی ۱۴
۱-۳ مشخصه‌های کیفی آب ۱۴
۱-۳-۱ مشخصه‌های فیزیکی ۱۵
۱-۳-۲ مشخصه‌های شیمیایی ۱۸
۱-۳-۳ مشخصه‌های بیولوژیکی ۲۷
۱-۳-۴ مشخصه‌های رادیولوژیکی ۲۷
۱-۴ ناخالصی‌های آب ۲۸
۱-۴-۱ مواد معلق و کلوئیدها ۲۸
۱-۴-۲ گازها ۲۹
۱-۴-۳ نمک‌های محلول ۲۹
۱-۵ اصول کلی تصفیه آب ۳۰
۱-۵-۱ الگوی متداول تصفیهٔ آب‌های زیرزمینی ۳۰
۱-۵-۲ الگوی متداول تصفیهٔ آب سطحی ۳۰
۱-۵-۳ تصفیه آب شهری ۳۱

فصل دوم: تئوری انعقاد

۲-۱ ذرات ۴۶
۲-۱-۱ انواع ذرات موجود در آب ۴۷
۲-۲ سیستم کلوئیدی ۴۸

۲-۳ خصوصیات ذرات کلوئیدی ۴۹
۲-۴ منابع مختلف بار ذرات ۵۱
۲-۴-۱ نقص در شبکه کریستالی (جایگزینی ایزومورفوس) ۵۱
۲-۴-۲ نقص ساختاری ۵۲
۲-۴-۳ جذب ترجیحی یون‌های خاص بر روی سطح ذرات ۵۲
۲-۴-۴ یونیزه شده گروه‌های معدنی روی سطوح ذرات ۵۲
۲-۵ نیروهای الکترواستاتیک مؤثر بر ذرات کلوئیدی آب ۵۳
۲-۶ تئوری لایه دوگانه ۵۵
۲-۷ پتانسیل زتا ذرات ۵۶
۲-۸ پایداری ذرات کلوئیدی ۵۸
۲-۹ مانع انرژی ۵۹
۲-۱۰ مکانیسم‌های کاهش دادن مانع انرژی یا ناپایدارسازی ذرات کلوئیدی ۶۱
۲-۱۰-۱ فشردگی لایه دوگانه الکتریکی ۶۱
۲-۱۰-۲ جذب سطحی و خنثی‌سازی بار الکتریکی ۶۳
۲-۱۰-۳ جذب و پل زدن بین ذرات ۶۴
۲-۱۰-۴ به دام انداختن ذرات کلوئیدی توسط ذرات در حال ته‌نشینی(انعقاد جارویی) ۶۶
۲-۱۱ انعقاد و لخته‌سازی ۶۷
۲-۱۱-۱ انعقاد ۶۷
۲-۱۱-۲ لخته‌سازی ۶۷
۲-۱۲ مکانیسم‌های انعقاد ۶۸
۲-۱۲-۱ انعقادسازی ارتوکینتیک ۶۸
۲-۱۲-۲ انعقادسازی الکتروکینتیکی ۶۸
۲-۱۳ عوامل مؤثر در انعقاد ۶۸
۲-۱۳-۱ pH ۷۰
۲-۱۳-۲ نحوه اختلاط و زمان لخته‌سازی ۷۰
۲-۱۳-۳ دما ۷۱
۲-۱۳-۴ تاثیر املاح معدنی ۷۱
۲-۱۳-۵ نوع و غلظت ماده منعقدکننده ۷۲
۲-۱۴ روابط قلیائیت و انعقاد ۷۲

فصل سوم: منعقدکننده و کمک منعقدکننده ها

۳-۱ منعقدکننده‌ها ۷۶
۳-۱-۱ نمک‌های آلومینیوم ۷۸
۳-۱-۱-۱ سولفات آلومینیوم یا آلوم ۷۸
۳-۱-۱-۲ پلی آلومینیوم کلراید (PACl) ۸۰
۳-۱-۱-۳ آلومینات سدیم ($Na_2Al_2O_4$) ۸۲
۳-۱-۱-۴ آلومینیوم کلروهیدرات (ACH) ۸۲
۳-۱-۲ منعقدکننده‌های آهن ۸۲
۳-۲ کمک منعقدکننده‌ها ۸۳
۳-۲-۱ سیلیس فعال ۸۴
۳-۲-۲ خاک رس یا کائولن و دیگر خاک‌ها ۸۴
۳-۲-۳ پلی الکترولیت‌های مصنوعی و طبیعی ۸۴
۳-۲-۳-۱ پلی الکترولیت‌های کاتیونی ۸۵
۳-۲-۳-۲ پلی الکترولیت‌های آنیونی ۸۶
۳-۲-۳-۳ پلی الکترولیت‌های غیر یونی ۸۶
۳-۳ کاربرد پلیمرها در تصفیه آب ۸۶
۳-۴ عوارض ناشی از کاربرد منعقدکننده‌های آلومینیومی ۸۷
۳-۵ عوارض ناشی از کاربرد پلیمرهای مصنوعی در تصفیه آب ۸۷
۳-۶ کاربرد منعقدکننده‌های طبیعی در تصفیه آب ۸۸
۳-۶-۱ مورینگا اولیفرا ۸۹
۳-۶-۱-۱ خصوصیات دارویی مورینگا اولیفرا ۹۴
۳-۶-۱-۲ عصاره خام مورینگا اولیفرا ۹۴
۳-۶-۱-۳ خصوصیات پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرا ۹۶
۳-۶-۱-۴ کاربرد مورینگا اولیفرا ۹۸
۳-۶-۲ کایتوزان ۹۹
۳-۶-۲-۱ کاربرد کایتوزان ۱۰۲

فصل چهارم: کاربرد انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه آب و فاضلاب

۴-۱ کاربردهای فرایند انعقاد و لخته‌سازی ۱۰۶

۴-۱-۱ کاربرد انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه آب ۱۰۶
۴-۱-۲ کاربرد انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه فاضلاب ۱۰۷
۴-۱-۳ کاربرد مواد منعقدکننده در پردازش لجن ۱۰۹

فصل پنجم: مبانی طراحی واحد اختلاط سریع

۵-۱ مقدمه ۱۱۲
۵-۲ ذخیره‌سازی و حمل و نقل مواد منعقدکننده ۱۱۶
۵-۲-۱ تجهیزات تزریق ترکیبات شیمیایی ۱۱۷
۵-۲-۱-۱ تزریق‌کننده‌های خشک ۱۱۷
۵-۲-۱-۲ تزریق‌کننده‌های محلول ۱۱۸
۵-۳ اولویت انتخاب نوع اختلاط ۱۲۰
۵-۳-۱ اختلاط توسط فشار فواره آبی ۱۲۱
۵-۳-۲ هم‌زن‌های استاتیکی خطی ۱۲۱
۵-۳-۳ اختلاط هیدرولیکی ۱۲۲
۵-۳-۴ اختلاط سریع مکانیکی ۱۲۲
۵-۳-۵ اختلاط با لوله‌های مشبک ۱۲۳
۵-۴ مبانی طراحی ۱۲۳
۵-۴-۱ دیفیوزرهای شیمیایی ۱۲۵
۵-۴-۲ هم‌زن‌های واحد اختلاط سریع ۱۲۶
۵-۴-۳ گرادیان سرعت در واحد اختلاط سریع ۱۳۰
۵-۴-۴ زمان‌ماند در حوض‌های اختلاط سریع ۱۳۵
۵-۴-۵ هندسه حوض اختلاط سریع ۱۳۵
۵-۵ فرایند انعقاد پیشرفته ۱۳۷
۵-۶ راهبری و نگهداری واحد اختلاط سریع ۱۳۸
۵-۶-۱ آزمایش کنترل انعقاد یا آزمایش جار ۱۳۹
۵-۶-۱-۱ بهینه کردن انعقاد ۱۴۰
۵-۶-۱-۲ بهینه کردن توالی تغذیه مواد منعقدکننده ۱۴۰
۵-۶-۱-۳ بهینه‌سازی انرژی اختلاط، نقش اختلاط، زمان اختلاط ۱۴۰
۵-۶-۱-۴ ارزیابی کارکرد فیلتراسیون و زلال‌سازی ۱۴۱
۵-۶-۱-۵ بررسی خاصیت خورندگی آب ته‌نشین شده ۱۴۱

۵-۷ روش انجام آزمایش جار پیشنهادی در آزمایشگاه ۱۴۲
۵-۷-۱ تهیه محلول‌های لازم ۱۴۲
۵-۷-۲ آزمایش جار ۱۴۴
۵-۷-۲-۱ تعیین pH بهینه ۱۴۴
۵-۷-۲-۲ تعیین دوز بهینه منعقدکننده ۱۴۵
۵-۷-۲-۳ تعیین زمان بهینه در مرحله اختلاط سریع ۱۴۶
۵-۷-۲-۴ تعیین سرعت بهینه فرآیند اختلاط سریع ۱۴۶
۵-۷-۲-۵ تعیین زمان بهینه در فرآیند لخته‌سازی ۱۴۶
۵-۷-۲-۶ تعیین سرعت بهینه اختلاط در فرآیند لخته‌سازی ۱۴۷
۵-۷-۲-۷ تعیین زمان بهینه ته‌نشینی ۱۴۷
۵-۷- ۳ بهینه کردن دوز منعقدکننده توام با کمک منعقدکننده ۱۴۷

فصل ششم: مبانی طراحی واحد لخته‌سازی

۶-۱ مقدمه ۱۵۰
۶-۲ نوع و راهنمای انتخاب ۱۵۴
۶-۲-۱ سیستم اختلاط مکانیکی ۱۵۵
۶-۲-۱-۱ فلوکولاتورهای با محور عمودی ۱۵۹
۶-۲-۱-۲ فلوکولاتورهای با محور افقی ۱۶۰
۶-۲-۲ لخته‌سازی هیدرولیکی ۱۶۲
۶-۲-۲-۱ لخته‌سازها با کانال مانع‌دار ۱۶۶
۶-۲-۲-۲ لخته‌سازهای هیدرولیکی با عملکرد جت ۱۷۴
۶-۲-۲-۳ لخته‌سازها با بستر سنگ‌ریزه‌ای ۱۷۸
۶-۲-۲-۴ لخته‌سازهای با تماس سطحی ۱۸۳

فصل هفتم: بهره‌برداری و نگهداری واحدهای انعقاد و لخته‌سازی

۷-۱ بهره‌برداری فرایندها ۱۸۶
۷-۱-۱ اختلاط سریع ناکافی ۱۸۸
۷-۱-۲ اختلاط کند یا لخته‌سازی نامناسب ۱۸۸
۷-۱-۳ زمان لخته‌سازی ناکافی ۱۸۹
۷-۲ آزمایشات و تجهیزات کنترلی راهبری ۱۸۹

۷-۲-۱ جارتست ۱۸۹
۷-۲-۲ آزمایش pH ۱۹۰
۷-۲-۳ آزمایش کدورت ۱۹۰
۷-۲-۴ آزمایش قابلیت صاف شدن ۱۹۰
۷-۲-۵ آزمایش پتانسیل زتا ۱۹۱
۷-۲-۶ پایشگر جریان ۱۹۲
۷-۲-۷ شمارشگر ذرات ۱۹۲
۷-۳ مشکلات بهره‌برداری ۱۹۲
۷-۳-۱ درجه حرارت پایین ۱۹۳
۷-۳-۲ لخته ضعیف ۱۹۳
۷-۳-۳ تشکیل کند لخته ۱۹۳
۷-۴ نکات ایمنی ۱۹۴
۷-۵ نگهداری مدارک شامل یادداشت‌ها و اطلاعات ۱۹۴
پیوست ۱۹۶
منابع و ماخذ ۲۰۲

پیشگفتار

شکر خداوند بی‌همتا که فرصتی به این بندگان حقیر عطا فرمود تا بتوانیم خدمتی ناچیز به جامعه دانشگاهی و کارشناسان محترم نموده و کتاب تئوری انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه آب را به چاپ برسانیم. این کتاب برای استفاده‌ی گروه‌هایی از دانشجویان رشته‌های مهندسی بهداشت محیط، عمران (شاخه‌ی آب و فاضلاب) و مهندسی محیط زیست تدوین شده که دروسی در زمینه تصفیه و کیفیت آب دارند. هر چند خوشبختانه در زمینه انعقاد و لخته‌سازی کتاب‌های گوناگونی به نگارش در آمده و یا به فارسی ترجمه شده‌اند، ولی تاکنون در زمینه فوق کتاب مستقلی وجود نداشته تا بتوان به‌راحتی استفاده نمود. تدریس و تحقیق در زمینه‌های آب، آلودگی آب و فرآیندهای تصفیه آب باعث شد که این کتاب را تهیه نماییم.

در اکثر کشورهای جهان، آب‌های سطحی مهمترین منابع آب شرب بوده که امروزه به دلیل توسعه شهرنشینی و فعالیت‌های صنعتی وکشاورزی، کیفیت آب‌ها تنزل پیدا کرده، لذا ضروریست جهت قابلیت استفاده آن‌ها به منظور شرب، مراحل مختلف تصفیه را طی نمایند. در تصفیه آب، فرایندهای متداول به‌صورت انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی، فیلتراسیون و گندزدایی می‌باشد. در فرایند انعقاد، ذرات ریز غیر قابل ته‌نشینی (کلوئیدی) با کمک منعقدکننده‌ها به یکدیگر چسبیده و لخته تشکیل می‌شود و بدین ترتیب، عمل ته‌نشینی ذرات تسریع پیدا می‌کند. معمولا، مواد شیمیایی مورد استفاده در واحدهای تصفیه‌خانه شامل مواد معدنی سنتزی و مواد آلی سنتزی است که کاربرد آن‌ها همراه با نگرانی‌های بهداشتی و عوارض زیست‌محیطی بوده و در این خصوص، امروزه در بسیاری از کشورها از جمله کشورهای در حال توسعه سعی می‌شود از موادی بهره بگیرند که کم هزینه، کم خطر، قابل دسترس و قابل تجزیه باشند و در آب باقیمانده‌ای از خود به‌جای نگذارند. با توجه به ضرورت آگاهی کامل اپراتورهای تصفیه‌خانه نسبت به فرآیند انعقاد و لخته‌سازی و تعیین شرایط بهینه برای استفاده از مواد منعقدکننده، این احساس به‌وجود آمد که تجربیات خویش را به شکلی ساده و جامع در قالب این کتاب گنجانده تا شاید راهگشای بسیاری از محققین و اپراتورهای تصفیه‌خانه‌های آب باشد.

این کتاب در نظر دارد تا شناخت و درک اساسی در زمینه اصول فرآیند انعقاد و لخته‌سازی برای کلیه افرادی که علاقمند به استفاده از آن می‌باشند ارائه نماید. بدین منظور کلیه مباحث علمی و عملی در زمینه انعقاد و لخته‌سازی ذرات معلق وکلوئیدی در فرآیند تصفیه آب در فصول مختلف آورده شده است.

مولفان

مقدمه

وجود ناخالصی‌های معلق و کلوئیدی در آب که باعث ایجاد رنگ و بو و طعم نامطبوع آب می‌شوند، لزوم تصفیه آب را مطرح می‌کند. این ناخالصی‌ها به کمک صاف کردن، قابل رفع نیستند، لذا از روش انعقاد و لخته‌سازی برای حذف آن‌ها استفاده می‌شود. افزودن یک ماده منعقدکننده به آب باعث خنثی شدن بار ذرات کلوئیدی شده، این ذرات با نزدیک شدن به هم ذرات درشت دانه و وزین‌تری را ایجاد می‌کنند.

برای کامل کردن این عمل و ایجاد لخته‌های بزرگ‌تر از مواد دیگری به نام کمک منعقدکننده استفاده می‌شود. لخته‌های به دست آمده که ذرات معلق و کلوئیدی را به همراه دارند، به حد کافی درشت هستند و به راحتی ته‌نشین و صاف می‌شوند.

معمولا برای حذف مواد کلوئیدی آب و فاضلاب، از ترکیبات فلزاتی مانند آلومینیوم، آهن یا برخی از ترکیبات الکترولیت استفاده می‌شود. املاح فلزات که به عنوان منعقدکننده وارد آب می‌شود، در اثر هیدرولیز به صورت یونی یا هیدروکسید یا هیدروکسیدهای باردار، در می‌آید. به‌وجود آمدن این مولکول باردار بزرگ با خنثی نمودن ذرات کلوئیدی و کاهش پتانسیل زتا (اختلاف پتانسیل بین فاز پخش شده و محیط اطراف آن) که عامل اصلی دافعه بین ذرات کلوئیدی می‌باشد، امکان لازم برای عمل نمودن نیروی واندروالسی به‌وجود می‌آورند که موجب چسبیدن ذرات به یکدیگر می‌شود.

بنابراین، عامل اصلی حذف بار کلوئیدها، یون‌های فلزی نیستند، بلکه محصولات حاصل از هیدرولیز آن‌ها می‌باشد. با توجه به آزمایشات مختلف، یون‌های فلزات سه ظرفیتی در عمل انعقاد، مؤثرتر از سایر یون‌ها می‌باشند. عمل انعقاد توسط عمل لخته‌سازی تکمیل شده، ذرات بزرگ‌تر شروع به ته‌نشینی می‌کنند. در مرحله ته‌نشینی، عامل زمان بسیار مهم می‌باشد و با قطر ذرات رابطه مستقیم دارد.