«به نام خدا»

مروری جامع بر تصفیه آب آشامیدنی

با تکیه بر چهار مورد از مهم‌ترین منابع علمی

Twort: Water Supply

Kawamura: Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities

Mc Ghee: Water Supply and Sewerage

Hammer :Water and Wastewater Technology

مریم سرخوش

محمدرضا زارع

سرشناسه	:	سرخوش، مریم، ۱۳۶۵ -
عنوان و نام پدیدآور	:	مروری بر اصول تصفیه آب آشامیدنی با تکیه بر چهار مورد از مهمترین منابع علمی/ مریم سرخوش،محمدرضا زارع.
مشخصات نشر	:	تهران: انتشارات علمی سنا
مشخصات ظاهری	:	۲۰۷ ص.: مصور ،جدول ،نمودار.
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۹۳۶۷۱-۷-۷
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	آب -- تصفیه
موضوع	:	آب آشامیدنی -- تصفیه
شناسه افزوده	:	زارع، محمدرضا، ۱۳۶۳-
رده بندی کنگره	:	TD۴۳۰/س۴م۴
رده بندی دیویی	:	۰۱/۶۲۸
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۶۰۳۸۳۸
	:	

انتشارات علمی سنا (مرجع تخصصی علوم پزشکی)

نام کتاب: مروری بر اصول تصفیه آب آشامیدنی با تکیه بر چهار مورد از مهمترین منابع علمی

نویسندگان: مریم سرخوش ، محمدرضا زارع

ناشر: علمی سنا

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۳۶۷۱-۷-۷

پست الکترونیک:elmisana@gmail.com

قیمت: ۲۴۰۰۰۰ ریال

فهرست مطالب

فصل اول
کیفیت آب

۱-۱ کلیات ۲
۱-۱-۱ رنگ ۲
۱-۱-۲ کدورت ۴
۱-۱-۳ درجه حرارت ۵
۱-۱- ۴ هدایت الکتریکی ۶
۱-۱-۵ طعم و بو ۶
۱-۱-۶ مشکلات مخازن ۸
۱-۱-۶-۱ کنترل طعم و بو در منبع ۹
۱-۱-۶-۲ کنترل طعم و بو در تصفیه‌خانه ۱۰
۱-۱-۷ اکسیژن محلول ۱۳
۱-۱-۸ میزان نوترینت‌ها ۱۵
۱-۱-۸-۱ تقسیم بندی دریاچه‌ها بر اساس میزان نوترینت‌ها ۱۵
۱-۱-۸-۲ تقسیم‌بندی دریاچه‌ها براساس شدت آلودگی ۱۶
۱-۱-۹ مواد آلی طبیعی ۱۶
۱-۱-۱۰ ترکیبات آلی مصنوعی ۱۷
۱-۱-۱۱ نسبت جذب سدیم ۱۸
۱-۱-۱۲ روش‌های نمونه برداری ۲۰
۱-۲ کیفیت شیمیایی ۲۱
۱-۲-۱ نیترات ۲۱
۱-۲-۲ رسوب‌گذاری ۲۳
۱-۲-۳ کلراید ۲۵
۱-۲-۴ سختی ۲۶
۱-۲-۵ آهن ۲۷
۱-۲-۶ سولفات ها ۲۷
۱-۲-۷ فسفات‌ها ۲۷
۱-۲-۸ کل جامدات محلول ۲۸
۱-۲-۹ آستانه مواد شیمیایی ۲۸
۱-۲-۹-۱ فاکتورهای ایمنی یا نامعلومی ۳۰

۱-۲-۹-۲ فرضیات ۳۱
۱-۲-۹-۳ مواد شیمیایی بدون آستانه ۳۱
۱-۳ کیفیت بیولوژیکی ۳۱
۱-۳-۱ رهنمودهای کیفیت میکروبی آب آشامیدنی ۳۵
۱-۳-۲ پاتوژن‌های باکتریایی: ۳۶
۱-۳-۲-۱ آسینتوباکتر ۳۷
۱-۳-۲-۲ آئروموناس ۳۸
۱-۳-۲-۳ باسیلوس ۳۸
۱-۳-۲-۴ بورکالدریا سئودومالی ۳۹
۱-۳-۲-۵ کامپیلوباکتر ۳۹
۱-۳-۲-۶ انتروباکتر ساکازاکی ۴۰
۱-۳-۲-۷ اشرشیا کلای ۴۰
۱-۳-۲-۸ هلیکوباکتر پیلوری ۴۱
۱-۳-۲-۹ کلبسیلا ۴۲
۱-۳-۲-۱۰ لژیونلا ۴۳
۱-۳-۲-۱۱ لپتوسپیرا ۴۳
۱-۳-۲-۱۲ مایکوباکتریوم ۴۴
۱-۳-۲-۱۳ سودوموناس آئروژینوزا ۴۵
۱-۳-۲-۱۴ سالمونلا ۴۶
۱-۳-۲-۱۵ شیگلا ۴۷
۱-۳-۲-۱۶ استافیلوکوکوس اورئوس ۴۸
۱-۳-۲-۱۷ ساکامورلا ۴۹
۱-۳-۲-۱۸ ویبریو ۵۰
۱-۳-۲-۱۹ یرسینیا ۵۱
۱-۳-۳ پاتوژن‌های ویروسی ۵۱
۱-۳-۳-۱ آدنوویروس‌ها ۵۲
۱-۳-۳-۲ استرووویروس‌ها ۵۲
۱-۳-۳-۳ کلیسی ویروس‌ها ۵۳
۱-۳-۳-۴ انترویروس‌ها ۵۳
۱-۳-۳-۵ ویروس هپاتیت A ۵۴
۱-۳-۳-۶ ویروس هپاتیت E ۵۵
۱-۳-۳-۷ روتاویروس‌ها و ارتورئوویروس‌ها ۵۶
۱-۳-۴ پاتوژن‌های تک یاخته‌ای (پروتوزوئوس) ۵۶
۱-۳-۴-۱ آکانتامبا ۵۷

۱-۳-۴-۲ بالانتیدیوم کلی ۵۸
۱-۳-۴-۳ بلاستوسیست ۵۸
۱-۳-۴-۴ کریپتوسپوریدیوم ۵۹
۱-۳-۴-۵ سیکلوسپورا کایتاننسیس ۵۹
۱-۳-۴-۶ انتامبا هیستولیتیکا ۶۰
۱-۳-۴-۷ ژیاردیا اینتستینالیز ۶۰
۱-۳-۴-۸ ایزوسپورا بلی ۶۰
۱-۳-۴-۹ میکروسپوریدیا ۶۱
۱-۳-۴-۱۰ نگلریا فاولری ۶۱
۱-۳-۴-۱۱ توکسوپلاسما گوندی ۶۲
۱-۳-۵ کرم‌های پاتوژن ۶۳
۱-۳-۶ نماتودهای غیرانگلی ۶۴
۱-۳-۷ سیانوباکتری‌های سمی ۶۴

فصل دوم

تصفیه آب‌های زیرزمینی

۲-۱ کلیات ۶۷
۲-۱-۱ انواع هواده‌ها ۶۸
۲-۱-۲ حذف آهن و منگنز ۷۰
۲-۱-۲-۱ اکسیداسیون و به دنبال آن زلال‌سازی و فیلتراسیون ۷۱
۲-۱-۲-۲ تبادل یونی ۷۳
۲-۱-۲-۳ ناپایدارسازی به وسیله عوامل جداکننده ۷۳
۲-۱-۳ سختی‌گیری آب با ترسیب ۷۴
۲-۱-۳-۱ اهداف سختی زدایی ۷۴
۲-۱-۳-۲ انواع سختی ۷۵
۲-۱-۳-۳ روش سنجش سختی ۷۷
۲-۱-۳-۴ روش‌های حذف سختی ۷۸
۲-۱-۳-۴-۱ سختی‌زدایی با آهک اضافی (روش ۲ مرحله ای) ۷۹
۲-۱-۳-۴-۲ سختی‌زدایی با آهک–سودا آش ۸۰
۲-۱-۳-۴-۳ سختی‌زدایی با سود سوزآور(NaOH) ۸۱
۲-۱-۳-۴-۴ سختی‌زدایی با آهک و سود سوزآور ۸۲
۲-۱-۳-۴-۵ سختی‌زدایی با استفاده از کریستالیزاسیون ۸۲
۲-۱-۳-۵ تثبیت بعد از نرم‌سازی ۸۳
۲-۱-۴ سختی‌گیری انشعابی ۸۴

۲-۱-۵ حذف سختی با استفاده از تبادل یون ۸۵

فصل سوم

تصفیه آب‌های سطحی

۳-۱ کلیات ۸۹
۳-۱-۱ الگوی متداول تصفیه آب‌های سطحی ۸۹
۳-۱-۲ واحدهای تصفیه‌خانه ۸۹
۳-۱-۲-۱ آبگیرها ۸۹
۳-۱-۲-۲ ذخیره سازی ۹۰
۳-۱-۲-۳ آشغالگیرها ۹۱
۳-۱-۲-۴ ته‌نشینی مقدماتی ۹۲
۳-۱-۲-۵ کلرزنی مقدماتی ۹۳
۳-۱-۳ تصفیه مورد نیاز ۹۴
۳-۲ تصفیه‌خانه آب ۹۴
۳-۲-۱ ته‌نشینی ۹۵
۳-۲-۲ اختلاط سریع ۹۷
۳-۲-۳ لخته‌سازی و زلال‌سازی ۱۰۲
۳-۲-۴ پولساتور ۱۰۶
۳-۲-۵ سوپرپولساتور ۱۰۸
۳-۲-۶ زلال‌ساز با جریان افقی ۱۰۸
۳-۲-۷ راکتور جریان رو به بالا (تماس جامدات) ۱۱۰
۳-۲-۸ زلال‌ساز با نرخ بالا ۱۱۲
۳-۲-۹ لاملا یا سیستم‌های صفحه ای ۱۱۲
۳-۲-۱۰ دیگر فرآیندهای زلال‌سازی با نرخ بالا ۱۱۳
۳-۲-۱۱ فرآیند شناورسازی با هوای محلول ۱۱۴
۳-۲-۱۲ فیلتراسیون به‌وسیله شناورسازی با هوای محلول ۱۱۵
۳-۳ حذف کدورت ۱۱۵
۳-۳-۱ راه‌های باردارشدن کلوئیدها ۱۱۷
۳-۳-۲ مکانیسم ناپایداری کلوئیدها ۱۱۷
۳-۴ منعقدکننده ها ۱۲۱
۳-۴-۱ انواع منعقدکننده ها ۱۲۱
۳-۴-۱-۱ آلوم ۱۲۱
۳-۴-۱-۲ آلومینات سدیم ۱۲۳

۳-۴-۱-۳ نمکهای آهن ۱۲۴
۳-۴-۱-۴ سولفات فرو ۱۲۵
۳-۴-۱-۵ کلریدفریک ۱۲۶
۳-۴-۱-۶ پلی آلومینیوم کلراید ۱۲۷
۳-۴-۱-۷ سولفات فریک ۱۲۷
۳-۴-۱-۸ کربنات منیزیوم ۱۲۸
۳-۴-۲ کمک منعقدکننده‌ها ۱۲۸
۳-۴-۲-۱ سیلیکای فعال ۱۲۹
۳-۴-۲-۲ عوامل وزنی ۱۳۰
۳-۴-۲-۳ آهک ۱۳۱
۳-۴-۲-۴ پلی‌الکترولیت‌ها ۱۳۱
۳-۵ فیلتراسیون ۱۳۴
۳-۵-۱ تقسیم بندی صافی‌ها براساس نیروی محرکه ۱۳۴
۳-۵-۲ تقسیم بندی صافی‌ها بر اساس ترتیب قرار گیری واحدهای قبل از صافی ۱۳۶
۳-۵-۳ تقسیم بندی صافی‌ها براساس نوع بستر ۱۳۷
۳-۵-۴ تقسیم‌بندی صافی‌ها براساس جهت جریان ۱۳۹
۳-۵-۵ تقسیم‌بندی صافی‌ها براساس میزان فیلتراسیون ۱۴۰
۳-۵-۶ انتخاب تعداد فیلترها ۱۴۶
۳-۵-۷ نرخ فیلتراسیون ۱۴۷
۳-۵-۸ جامدات باقیمانده ۱۴۷
۳-۵-۹ بستر فیلتر ۱۴۸
۳-۵-۱۰ فیلتراسیون دو مرحله‌ای ۱۴۹
۳-۵-۱۱ شستشوی معکوس ۱۵۱
۳-۵-۱۲ شبکهٔ زهکش فیلتر ۱۵۲
۳-۵-۱۳ مشکلات بهره‌برداری از فیلترها ۱۵۳
۳-۶ کربن فعال پودری (PAC) ۱۵۶
۳-۷ کربن فعال دانه‌ای (GAC) ۱۵۷
۳-۸ ممبران فیلترها ۱۵۸
۳-۹ گندزدایی ۱۶۰
۳-۹-۱ کلرزنی ۱۶۲
۳-۹-۱-۱ انواع روش‌های کلرزنی ۱۶۳
۳-۹-۲ کلرآمین ها ۱۶۵

۳-۹-۳ دی‌اکسیدکلر ۱۶۶
۳-۹-۴ ازن ۱۶۷
۳-۹-۵ اشعه ماوراءبنفش (UV) ۱۷۰
۳-۹-۶ راه‌های کنترل محصولات جانبی گندزدایی (DBPs) ۱۷۱
۳-۹-۶-۱ تری‌هالومتان ها ۱۷۲
۳-۹-۶-۲ هالواستیک اسیدها ۱۷۴
۳-۹-۶-۳ محصولات جانبی ازن زنی ۱۷۵

فصل چهارم

تصفیه پیشرفته

۴-۱ کلیات ۱۷۷
۴-۲ فلوئورزنی و فلوئورزدایی ۱۷۷
۴-۳ انعقاد پیشرفته ۱۷۹
۴-۴ حذف ترکیبات شیمیایی آلی سنتتیک (SOC_s) ۱۸۰
۴-۵ پایدارسازی آب ۱۸۱
۴-۵-۱ روش‌های کنترل خوردگی ۱۸۳
۴-۵-۲ روش‌های حفاظت کاتدی ۱۸۳
۴-۵-۳ خوردگی سرب و لحیم ۱۸۴
۴-۶ فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOP) ۱۸۴
۴-۷ گندزدایی ثانویه ۱۸۵
۴-۸ سختی‌گیری با تعویض یون و حذف نیترات ۱۸۶
۴-۸-۱ سختی‌گیری با تبادل کاتیونی ۱۸۶
۴-۸-۲ تعویض یون جهت حذف نیترات ۱۸۶
۴-۸-۳ معدنی‌زدایی ۱۸۷
۴-۸-۴ رزین‌های سیکل هیدروژن ۱۸۸
۴-۹ حذف نمک‌های محلول ۱۸۸
۴-۹-۱ حذف جامدات محلول از آب دریا ۱۸۹
۴-۹-۲ الکترودیالیز ۱۸۹
۴-۹-۳ اسمز معکوس ۱۹۰
۴-۹-۴ تقطیر ۱۹۱
۴-۹-۵ دیگر فرآیندهای نمک‌زدایی ۱۹۲
۴-۱۰ زائدات و پساب‌های تصفیه‌خانه آب ۱۹۳

۴-۱۰-۱ پساب ناشی از انعقاد ۱۹۵
۴-۱۰-۲ لجن سختی‌گیری ۱۹۶
۴-۱۰-۳ پساب ناشی از شستشوی معکوس فیلترها ۱۹۵
۴-۱۰-۳ سایر لجن‌ها و زائدات ۱۹۸
۴-۱۰-۴ آبگیری و دفع زائدات تصفیه‌خانه آب ۱۹۸
منابع ۲۰۱

فصل اول

کیفیت آب

۱-۱ کلیات

بیشتر سطح زمین از آب پوشیده شده است، با این حال، از کل آب‌های زمین، کمتر از ۱٪ آن در دسترس و قابل استفاده برای بشر است. چرا که آب مورد استفاده در موارد خانگی باید از لحاظ زیباشناختی (کدورت، بو، رنگ و طعم)، فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مناسب باشد. از طرف دیگر در بسیاری از موارد کیفیت آب برای صنعت، باید بالاتر از کیفیت مورد استفاده در موارد خانگی باشد و به روش‌های تصفیه خاص نیاز دارد.

پارامترهای کیفی آب به سه دسته فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تقسیم‌بندی می‌شود.

پارامترهای فیزیکی آب شامل طعم و بو، کدورت، جامدات معلق و رنگ می‌باشند و نسبت به پارامترهای شیمیایی و بیولوژیکی تغییرات زیادی دارند. این پارامترها پیوسته (به طور روزانه) باید سنجیده شوند.

مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی مطرح در کیفیت آب عبارتند از: رنگ، کدورت، درجه حرارت، هدایت الکتریکی، طعم و بو، و... که در ادامه هر یک از آن‌ها به اختصار توضیح داده شده‌اند.

۱-۱-۱ رنگ

رنگ[۱] آب ناشی از ترکیبات آلی و معدنی با منشأ طبیعی و مصنوعی است. اگر رنگ آب ناشی از مواد محلول باشد، به آن رنگ واقعی یا حقیقی[۲] می‌گویند. رنگ حقیقی آب سبب جذب طول موج‌هایی از نور شده و بر کدورت تأثیر می‌گذارد. اگر رنگ آب ناشی از مواد معلق باشد، به آن رنگ ظاهری[۳] می‌گویند که به وسیله‌ی فرآیندهای تصفیه حذف می‌شود. رنگ آب نشان دهنده‌ی کیفیت آب نیست ولی از لحاظ ارگانولپتیکی (زیبایی شناختی)، مهم است. از طرف دیگر وجود رنگ در آب، پتانسیل تشکیل‌تری‌هالومتان‌ها[۴] (THMs) را افزایش می‌دهد.

منشأ رنگ در آب‌های طبیعی، راه‌یابی ترکیبات حاصل از تجزیه مواد گیاهی (اسیدفولیک و اسیدهیومیک)، فاضلاب‌های صنعتی مثل صنایع نساجی و کاغذسازی و یا عناصری همچون آهن (رنگ قرمز) منگنز (رنگ سیاه) و مس (رنگ سبز آبی) می‌باشد. شایان ذکر است عناصری همچون آهن و مس، خود می‌توانند منشا طبیعی یا غیرطبیعی (همچون فاضلاب ها) داشته باشند[۱]. به جز این موارد منشأ رنگ ممکن است میکروبی نیز باشد.

---

۱. Color (colour) ۲. True color ۳. Apparent color ۴. Trihalomethanes

بطور مثال باکتری‌های آهن (مثل گالیونلا، لپتوتریکس و کرنوتریکس)، آهن را اکسید کرده و رسوب قرمز رنگ ایجاد می‌کنند.

واحد اندازه‌گیری رنگ در آب‌های طبیعی TCU[1] است که با واحد هیزن یا میلی گرم بر لیتر پلاتینیوم-کبالت برابر است[۲]. برای اندازه‌گیری رنگ، آب را از فیلتر ۰/۴۵ میکرون عبور می‌دهند. حدود راهنما WHO[2] و EPA[3]، که براساس آن رنگ در یک لیوان برای اکثر مردم غیر قابل مشاهده است، TCU ۱۵ می‌باشد[۱و۳]. در ایران نیز حداکثر مطلوب رنگ TCU ۵ و حداکثر مجاز آن TCU ۱۵ می‌باشد. مبنای آزمایش رنگ در آب‌های طبیعی اغلب مقایسه چشمی و در فاضلاب‌ها اسپکتوفتومتری است.

رنگ آب با افزایش pH، افزایش می‌یابد. سنجش رنگ بهتر است در pH ۸/۳ انجام پذیرد. قبل از سنجش رنگ باید کدورت را با سانتریفوژ از بین برد. برای سنجش رنگ از پلاتینیوم به شکل کلروپلاتینات (K_2PtCl_6) استفاده می‌شود[۴].

حذف رنگ: رنگ آب به وسیله‌ی تصفیه متداول (اکسیداسیون، انعقاد و فیلتراسیون) تا حد قابل قبولی حذف می‌شود. جذب سطحی و تبادل یون نیز به عنوان فرآیندهای پیشرفته در حذف رنگ به کار می‌روند.

اکسیداسیون[4]: مؤثرترین روش حذف رنگ، اکسیداسیون می‌باشد. مواد اکسیدکننده‌ی رنگ عمدتاً کلر و ترکیبات آن، پرمنگنات پتاسیم و ازن هستند. البته کاربرد پرمنگنات پتاسیم در تصفیه آب عمدتاً جهت کنترل و حذف طعم و بو می‌باشد. حذف مؤثر رنگ معمولاً با انجام پیش کلرزنی و سپس انعقاد با آلوم نیز میسر است. شایان ذکر است که استفاده از کلر جهت حذف رنگ در پیش کلرزنی مقادیر زیادی هالومتان تولید می‌کند و به همین دلیل استفاده از آن باید با احتیاط و ارزیابی دقیق همراه باشد. استفاده از کلرآمین‌ها نیز برای جلوگیری از تشکیل تری‌هالومتان‌ها در پیش کلرزنی، روش مؤثری درحذف رنگ نیست. از معایب دیگر کلر در حذف رنگ این است که استفاده از کلر باید در pH ۴ تا ۶/۵ باشد که این pH معمولاً به آسانی قابل دستیابی نمی‌باشد[۵و۶]. ازن رنگ را بهتر از کلر حذف می‌کند و نسبت به کلر اکسید کننده قوی‌تری است. ازن معایب کلر را نداشته (pH آب بر آن تأثیر بسیار کمتری دارد و همچنین تری‌هالومتان تولید نمی‌کند) ولی چون هزینه زیادی دارد معمولاً برای حذف رنگ به کار نمی‌رود. به علاوه دمای آب نیز کاربرد ازن در آب را به میزان زیادی تحت تاثیر قرار می‌دهد[۷].

---

۱. True Colour Unit ۲. World Health Organization ۳. Environmental Protection Agency

۴. Oxidation ۵. Coagulation