استفاده از پرمنگنات پتاسیم

به عنوان کمک منعقدکننده در عملیات تصفیه آب

بیژن بینا* ـ محمدرضا شاهمنصوری** ـ اسدالله ذهب صنیعی***

چکیده

در این مقاله استفاده از پرمنگنات پتاسیم در عملیات تصفیه آب و نقش این ماده شیمیایی در فرآیند زلال‌سازی آب آشامیدنی به منظور تأمین کیفیت بهتر آن ارزیابی می‌شود. روش تحقیق در این بررسی، مبتنی بر آزمایشهای موسوم به "جارتست" بر روی آب "زاینده‌رود" می‌باشد.

اطلاعات بدست آمده از این مطالعه آزمایشگاهی، توانایی پرمنگنات پتاسیم را در کمک به فرآیند کواگولاسیون ـ فلوکولاسیون به اثبات می‌رساند. این تأثیر به ویژه در حضور مقدار قابل ملاحظه مواد آلی در آب بسیار زیادتر است. تعیین میزان بهینه تزریق پرمنگنات، کاهش در مصرف آلوم و حجم لجن تولید شده، و در نتیجه کاهش قیمت تمام شده یک مترمکعب آب تصفیه شده نیز بررسی و ارائه گردیده است.

مقدمه

آبهای سطحی که داشتن مقدار زیادی مواد آلی یکی از مشخصه‌های آنها است، معمولاً یکی از منابع اصلی تولید آب آشامیدنی به شمار می‌روند. تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که حضور مواد آلی طبیعی در آب موجب پایداری ذرات کلوئیدی می‌شود[۱]. همچنین عنوان شده است که پوشش یک لایه از مواد آلی بر سطح ذرات معلق غیرآلی در آب، اثر رانشی داشته موجب مخالفت فضایی بین ذرات می‌شود[۲]. قبل از آن ربان و نارکیس (۱۹۷۵) حضور مواد آلی طبیعی در آب را موجب افزایش مصرف ماده منعقد کننده دانسته بودند[۳]. بعداً محققین دیگر این افزایش مصرف کواگولانت را بین ۵ تا ۱۰ برابر، برای وقتی که غلظت فولویک اسید بین ۳ تا ۷ میلی‌گرم در لیتر باشد بدست آوردند[۴]. اینها به معنی افزایش حجم لجن تولید شده و افزایش قیمت‌تمام شده یک مترمکعب آب تصفیه‌می‌باشد.

برای رهایی از مسائل فوق، کلر و ازن دو اکسید کننده عمده هستند که به عنوان کمک منعقد کننده در آبهای سطحی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که اولی علیرغم ارزان

*ـ استادیار دانشکده بهداشت اصفهان

**ـ عضو هیئت علمی دانشکده بهداشت اصفهان

***ـ کارشناس آب منطقه‌ای اصفهان

بودن به دلیل تولید محصولات فرعی مضر و دومی به علت هزینه‌های زیاد، نیاز به انتخاب یک جانشین را مطرح می‌سازند. با عنایت به این موارد است که پیشنهاد شده است با توجه به صرفه اقتصادی آن از پرمنگنات پتاسیم جهت کمک به فرآیند کواگولاسیون ـ فلوکولاسیون استفاده شود. بررسی سوابق تاریخی امر نشان می‌دهد که با توسعه تجهیزات کاربرد آسان پرمنگنات پتاسیم در ۱۹۶۰ از این ماده برای حل مشکل هر نوع بو و طعم احتمالی استفاده می‌شده است[۵]. از مزایای دیگر این طرح، سرمایه‌گذاری ارزان، سهولت در نگهداری و کاربرد و شرایط قابل انعطاف آن می‌باشد. از اثرات جانبی کاربرد پرمنگنات ـ که در این مطالعه بررسی نمی‌شود ـ حذف بو و طعم، حذف آهن و منگنز و حذف مؤثر مواد تولید کننده THM (تری هالومتانها) را می‌توان نام برد.

بطور کلی پرمنگنات پتاسیم ($KMno_4$) به عنوان یک ماده اکسیدکننده شناخته می‌شود که در محلولهای آبی موجب تغییرات شیمیایی در بسیاری از ترکیبات آلی و معدنی می‌شود. وقتی پرمنگنات در آب حل شود ـ بسته به غلظت آن ـ ایجاد رنگ بنفش، زرشکی ، ارغوانی تا صورتی می‌نماید. این تغییرات رنگ به دلیل ظرفیتهای گوناگون منگنز در حالت عنصری و در ترکیبات مختلف آن است.

در فرآیندهای تصفیه آب منگنز از ظرفیت (+۷) در پرمنگنات به ظرفیت (+۴) در دی‌اکسید منگنز نامحلول کاهش می‌یابد که در این میان تغییرات رنگ از قرمز یا صورتی به زرد یا قهوه‌ای بسته به غلظت آن می‌باشد. اصلی‌ترین واکنش شیمیایی در آب (در pH های ۵ تا ۱۱) به شکل زیر نمایش داده می‌شود[۶].

$$2KMnO_4 + H_2O \longrightarrow 2KOH + 2MnO_2 + 3O$$

اکسیژن نوزاد تولید شده به مصرف مواد اکسید شونده در آب می‌رسد. این عمل در pHهای قلیایی (۱۱-۸) سریعتر از pHهای اسیدی انجام می‌گیرد :

$$KMnO_4 + H_2O + \begin{bmatrix} \text{آب + دی‌اکسیدکربن} \longrightarrow \text{ترکیبات آلی} \\ \text{(III) رسوب آهن} \longrightarrow \text{آهن محلول} \\ \text{دی‌اکسیدمنگنز} \longrightarrow \text{منگنزمحلول} \\ \text{سولفات} \longrightarrow \text{سولفید ئیدروژن} \end{bmatrix} \begin{matrix} (+۷) \\ \\ \\ \\ \\ (+۴) \end{matrix} + MnO_2$$

MnO_2 حاصل به دلایل شیمیایی دارای خواص تعویض یونی است و این مبنای استفاده از پرمنگنات برای حذف یونهای آهن و منگنز از آب است[۶]. به علاوه دی‌اکسید منگنز با داشتن سطح داخلی $300 m^2/g$ از طریق مکانیسم جذب سطحی به عنوان کمک منعقد کننده به فرآیند تشکیل «فلاک» مورد توجه است. MnO_2 همچنین به دلیل جذب مواد آلی، راندمان کلی عملیات تصفیه را افزایش می‌دهد[۷].

مواد و روشها

شیوه تحقیق مبتنی بر آزمایشهای موسوم به "جارتست" است که به روش استاندارد انجام می‌شود. در هر سری از آزمایشها، مشخصات مورد نظر در نمونه مربوطه اندازه‌گیری می‌شود. در صورت نیاز به افزایش بارآلی و یا تنظیم pH به ترتیب از عصارهٔ مواد هیومیک و اسید و باز استفاده شده است. در هر مرحله، آزمایشها بر روی نمونه‌ای یکنواخت که از رودخانه زاینده‌رود برداشت شده انجام گرفته است. نمونه‌های با کدورت آب بالا در واقع نمونه‌هایی است که به دنبال بارندگیهای کم سابقه اردیبهشت ماه ۷۴ از رودخانه زاینده‌رود برداشته شده بود.

نتایج و بحث :

تأثیر استفاده از پرمنگنات در حذف کدورت :

در اولین مرحله تحقیق آزمایشهای "جارتست" بر روی نمونه‌ای با مشخصات اولیه زیر انجام گرفت :

جدول ۱ : خصوصیات کیفی آب خام

مشخصه	قلیائیت $mg/LCaCo_3$		سختی کل	کلرور	هدایت الکتریکی	pH	کدورت
	M	P	$mg/LCaCO_3$	mg/L	میکروموز بر cm		
مقدار	۱۳۵	—	۱۴۵	۱۴/۲	۳۱۸	۸/۲	۶۱

نتایج بدست آمده که در شکل (۱) رسم شده است حاکی از آن است که میزان تزریق بهینه آلوم بیش از ۳۵mg/L و کمترین کدورت حاصله ۱۲NTU با اضافه کردن ۴۰mg/L آلوم در صورت عدم استفاده از پرمنگنات حاصل می‌شود.

برای همین نمونه آب، در صورت استفاده از ۰/۵mg/L پرمنگنات پتاسیم، کدورت باقیمانده در آب بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و به حدود ۲/۵ NTU می‌رسد. به بیان دیگر استفاده از پرمنگنات به عنوان کمک منعقد کننده در این حالت موجب شده است راندمان حذف کدورت از ۸۰٪ به بیش از ۹۵٪ افزایش یابد. این پدیده به مفهوم وجود ارتباط معنی‌دار بین استفاده از پرمنگنات با کاهش کدورت آب ته‌نشین شده می‌باشد.

تأثیر استفاده از پرمنگنات بر میزان مصرف آلوم

جدول (۲) تأثیر استفاده از پرمنگنات را بر میزان مصرف آلوم نشان می‌دهد.

پرمنگنات پتاسیم (mg/L)	۰/۵	۰
آلوم (mg/L)	۲۰	۴۰
کدورت باقیمانده (NTU)	۲/۶	۱۲

جدول (۲) : کاهش مصرف آلوم در اثر استفاده از پرمنگنات

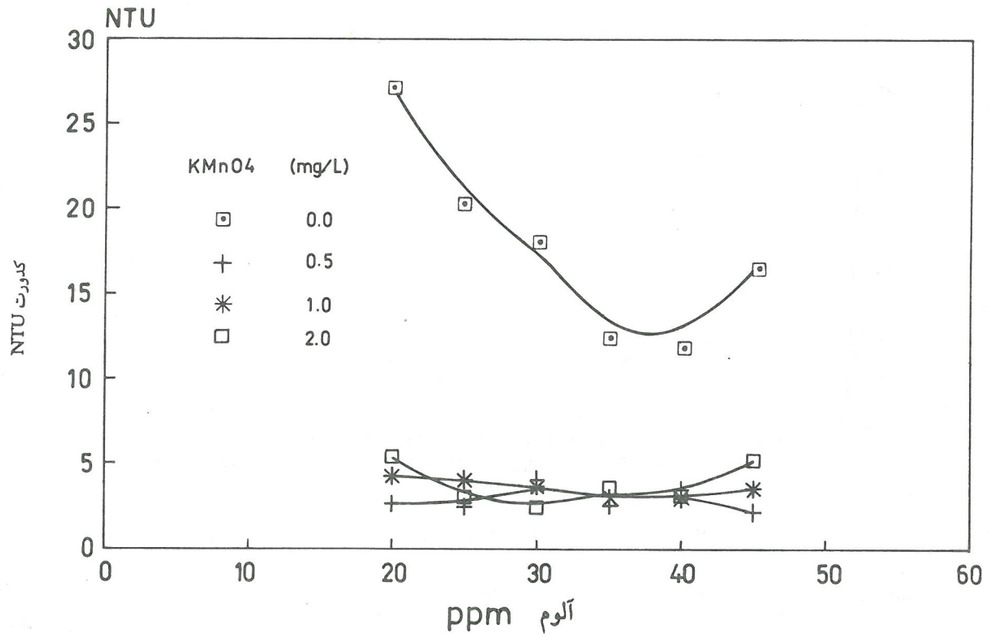
ارزیابی این یافته‌ها گویای آن است که استفاده از پرمنگنات به عنوان کمک منعقد کننده علاوه بر بهبود بخشیدن به کیفیت آب نهایی میزان مصرف آلوم را بین ۴۰ تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد.

بررسی اثر استفاده از پرمنگنات در حضور مواد آلی

در منابع علمی مربوط به تصفیه آب اظهار شده است که اگر فرآیند زلال سازی بر روی دو نمونه آب مختلف انجام پذیرد، یکی از عواملی که راندمان این فرآیند را کاهش می‌دهد، غلظت زیاد مواد آلی است نه الزاماً کدورت اولیه زیاد. در اینجا ضمن آزمایش، نتایج این بررسی در شکل (۲) نشان داده شده است.

نتیجه اینکه در حضور قابل ملاحظه مواد آلی در آب، در صورتی فرآیند کواگولاسیون موفق خواهد بود که شرایط بهینه در مقدار و انواع کواگولانتها تغییر یابد. در این قسمت از تحقیق آزمایشهای جارتست بر روی نمونه‌های آبی که غلظت مواد آلی آنها نسبتاً بالا است (COD=۸۰mg/L) تکرار شده است و در هر نوبت از تزریق مقدار معینی پرمنگنات به عنوان کمک منعقد کننده استفاده گردیده است. نتیجه این مجموعه آزمایشها در شکل (۳) نشان داده شده است.

نمودارهای شکل (۳) نشان می‌دهند که اگر در زلال‌سازی این آب فقط ۵۰mg/L آلوم تزریق شود، بیش از ۸۰٪ کدورت اولیه در آب ته‌نشین شده باقی می‌ماند، ولی اگر از ۱mg/L پرمنگنات پتاسیم هم به صورت کمک منعقد کننده استفاده شود، کدورت آب ته‌نشین شده به ۵۵٪ مقدار اولیه خود می‌رسد. اگر مصرف پرمنگنات تا ۲/۵mg/L افزایش یابد، کدورت آب ته‌نشین شده به ۴۰٪ مقدار اولیه خود کاهش می‌یابد. به بیان دیگر، با مصرف ۱ تا ۲/۵mg/L پرمنگنات، کدورت آب ته‌نشین شده به ۴۰٪ مقدار اولیه خود کاهش می‌یابد. یعنی در واقع راندمان حذف کدورت اولیه آب خام ۲ تا ۳ برابر افزایش می‌یابد. مطابق این یافته‌ها، با تزریق ۵۰mg/L آلوم، راندمان حذف



شکل ۱ـ تأثیر استفاده از پرمنگنات پتاسیم بر کاهش مصرف آلوم و کدورت باقیمانده در فرآیند زلال‌سازی آب

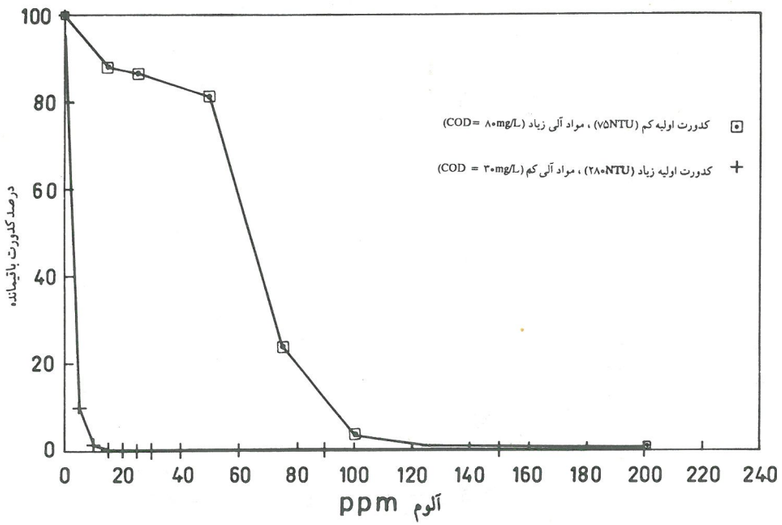
کدورت کمتر از ۲۰٪ است، در حالی که افزودن ۲/۵ mg/L پرمنگنات بلافاصله بعد از تزریق آلوم، راندمان حذف را به بیش از ۶۰٪ افزایش داده است. در این حالت کدورت اولیه نمونه‌ها ۸۷ NTU بوده است.

تعیین میزان بهینه تزریق پرمنگنات

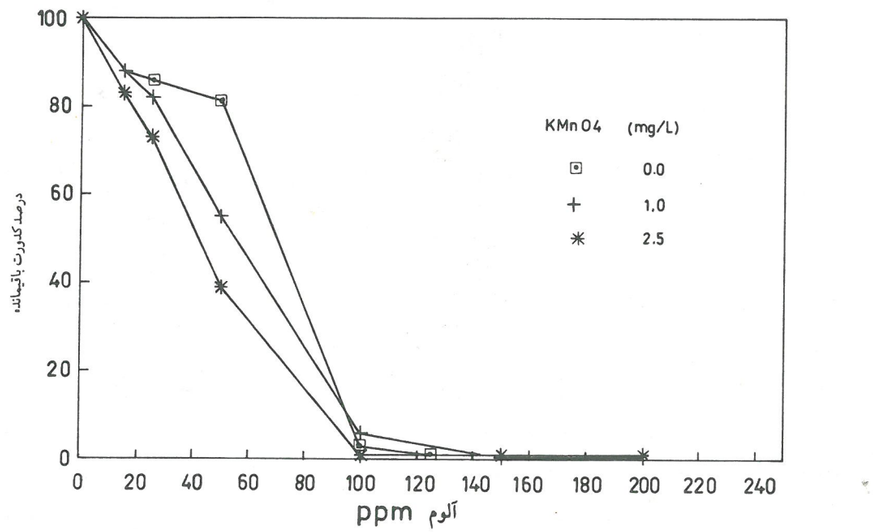
میزان بهینه برای تزریق پرمنگنات را می‌توان به کمک یک آنالیزور و یا به صورت چشمی[۸] ـ و از روی میزان رنگ باقیمانده در آب ته‌نشین شده ـ معلوم کرد. هر چه غلظت مواد آلی موجود در نمونه آب خام بیشتر باشد، آن نمونه می‌تواند مقدار زیادتری از پرمنگنات پتاسیم را بیرنگ کند. لذا، میزان تقریبی بهینه پرمنگنات در آزمایشگاه مشخص می‌شود و سپس به طریقی که گفته شد، در مقیاس واقعی کنترل می‌گردد.

ابتدا با انجام آزمایشهای جارتست روی نمونه‌ای با مشخصات کدورت اولیه ۱۳NTU و COD=۳۶mg/L ، میزان تزریق بهینه آلوم معادل ۴۰mg/L و راندمان حذف کدورت برابر ۷۷٪ بدست آمد. با تکرار این آزمایشها بر روی نمونه‌هایی با همان شرایط و اضافه کردن پرمنگنات و سپس اندازه‌گیری جذب نوری نمونه‌های آب ته‌نشین شده بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر، نمودارهای شکل (۴) رسم می‌گردد.

طول موج ۵۳۰nm طول موج شاخص پرمنگنات است، بطوری که در این طول موج تغییرات در میزان جذب، منعکس کننده تغییرات غلظت پرمنگنات باقیمانده است، در حالی که میزان جذب در ۴۲۰nm و ۶۸۰nm گویای تغییرات نسبی در غلظت هیومیک اسید و کدورت باقیمانده در آب ته‌نشین شده است[۱]. در این نمودارها ملاحظه می‌شود که میزان جذب در ۵۳۰nm ابتدا کاهش می‌یابد بطوری که حتی کمتر از حالتی می‌شود که از پرمنگنات استفاده نشده است و این مبین مصرف شدن پرمنگنات در آب است. بعد از آنکه تزریق پرمنگنات از ۲/۵mg/L فراتر رود، مقدار جذب در طول موج ۵۳۰nm شروع به افزایش می‌کند و این به دلیل وجود پرمنگنات



شکل ۲ـ اثر مواد آلی موجود در آب بر کدورت باقیمانده در آب ته‌نشین شده



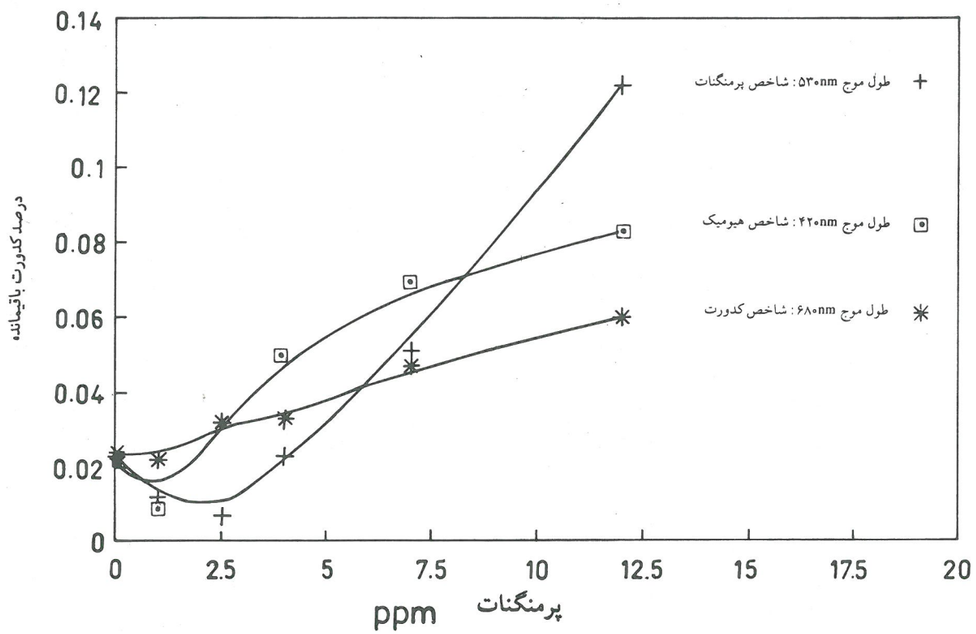
شکل ۳ـ تأثیر استفاده از پرمنگنات بر کدروت آب ته‌نشین شده در زلال‌سازی آبهایی که غلظت مواد آلی در آنها زیاد است.

(COD= ۸۰mg/L)

اضافی در آب می‌باشد که به صورت چشمی هم کاملاً مشهود است. تغییرات جذب در طول موجهای ۴۲۰nm و ۶۸۰nm حاکی از آنستکه همزمان با افزایش تزریق پرمنگنات، تأثیر آن در فرآیند کمک به انعقاد بیشتر می‌شود، ولی در عین حال اگر تزریق پرمنگنات از میزان بهینه بیشتر شود، از تأثیر آن کاسته می‌شود.

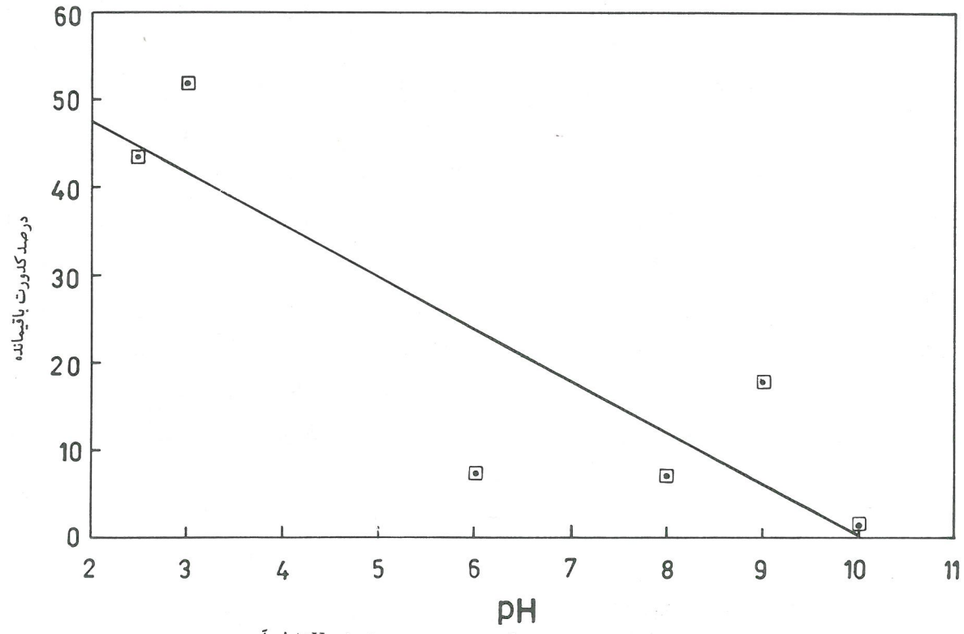
در مجموعهٔ این بررسی مشخص گردید که با تزریق ۲/۵mg/L پرمنگنات همراه ۴۰mg/L آلوم راندمان حذف کدورت ۱۰٪ افزایش می‌یابد و همچنین ملاحظه می‌شود که با تزریق ۲۵mg/L آلوم (۳۸٪ کاهش) همراه پرمنگنات راندمان حذف کدورت مساوی موقعی است که ۴۰mg/L آلوم (بدون استفاده از پرمنگنات) تزریق شود.

شکل ۴ و ۵



شکل ۴ ـ نقش مقدار تزریق پرمنگنات بر میزان تأثیر آن به عنوان کمک منعقدکننده و غلظت پرمنگنات باقیمانده

تزریق آلوم ۴۰ ppm و مقدار COD برابر ۳۶mg/L بوده است.



شکل ۵ـ نمودار تغییرات کدورت باقیمانده در آب ته‌نشین بر حسب تغییرات pH اولیه آب.

میزان تزریق آلوم ۴۰ppm ، پرمنگنات ۲ppm و مقدار COD برابر ۳۰mg/L بوده است

بررسی تغییرات pH در فرآیند استفاده از پرمنگنات

بررسی بر روی تغییرات pH در اثر تزریق پرمنگنات ارتباط معنی‌داری را ثابت نمی‌کند. اما با انجام آزمایشهای موسوم به جارتست بر روی نمونه‌هایی که pH آنها متفاوت ولی سایر شرایط آنها مشابه است، مشخص می‌شود که در pHهای بالاتر، راندمان حذف کدورت از آب افزایش می‌یابد (شکل ۵) . در عین حالیکه pH بهینه باید در شرایط واقعی و در تصفیه‌خانه تعیین گردد ولی برای آبهایی که حاوی مقدار زیادی مواد آلی محلول هستند و در تصفیه آنها از پرمنگنات هم استفاده می‌شود، تأمین pH برابر ۸/۵ با تزریق آب آهک به شرط آنکه آب در رده آبهای سبک باشد توصیه شده است[۹].

تأثیر استفاده از پرمنگنات بر میزان لجن تولید شده

لجن حاصل از عملیات تصفیه آب در زمره لجنهای شیمیایی طبقه‌بندی می‌شود که دفع آن در بعضی از کشورها از دستورالعملهای خاصی پیروی میکند. از سوی دیگر امکان برآورد میزان لجن تولیدی علیرغم مشکلاتی که دارد از طریق کاربرد فرمولهای تجربی مانند فرمول زیر وجود دارد[۱۰]:

میزان تولید لجن آلوم خشک (بر حسب پوند بر میلیون گالن آب تصفیه شده) =

+ [۲/۲* × (mg/L) مقدار تزریق آلوم]

[۸/۳۴×۱/۳**×(NTU)کدورت آب]

به منظور کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیات انتقال و دفع لجن، تقلیل میزان تولید آن باید به عنوان اولین اقدام تلقی گردد. یکی از راههای رسیدن به این هدف استفاده همزمان از آلوم و یک کمک منعقد کننده است که باید بر اساس تحقیقاتی که قبل از طراحی انجام می‌شود صورت پذیرد.

در شرایطی که پرمنگنات پتاسیم به عنوان کمک منعقد کننده انتخاب می‌شود، مطابق آنچه در قسمت "تأثیر استفاده از پرمنگنات بر میزان مصرف آلوم" این بررسی محاسبه گردید، با تزریق ۰/۵ تا ۱/۵ ppm پرمنگنات پتاسیم به عنوان کمک منعقد کننده، مصرف آلوم بین ۳۸ تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. اکنون با استفاده از رابطه مورد بحث، می‌توان میزان کاهش لجن تولید شده را برآورد کرد. به عنوان نمونه، برای آزمایشی که نتایج آن در نمودار شکل ۱ آمده است، تغییرات در میزان لجن تولید شده عبارتست از :

الف : در صورت استفاده از آلوم به تنهایی :

۴۰ppm = تزریق آلوم

۶۱NTU = کدورت اولیه

۲/۲×۴۰+۶۱×۱/۳×۸/۳۴=۷۵۰ = لجن تولید شده پوند به ازای یک میلیون گالن آب تصفیه شده

ب : در صورت استفاده از پرمنگنات به عنوان کمک منعقدکننده :

۲۰ppm= تزریق آلوم

۶۱NTU = کدورت اولیه

۲/۲×۲۰+۶۱×۱/۳×۸/۳۴=۷۰۵ = لجن تولید شده پوند به ازای یک میلیون گالن آب تصفیه شده

۷۵۰-۷۰۵=۴۵ = کاهش وزن لجن تولیدی

به تعبیر دیگر، تزریق ۰/۵ تا 1/5ppm پرمنگنات موجب ۵۰٪ کاهش در مصرف آلوم و ۶٪ کاهش در وزن لجن تولیدی شده است.

توجیه اقتصادی استفاده از پرمنگنات در تصفیه آب

آنچه در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته، برآورد میزان صرفه‌جویی ناشی از تغییر رژیم مصرف مواد شیمیایی است.

مطابق آنچه در مباحث قبلی ذکر گردید، اگر مصرف ۰/۵ تا 1/5mg/L پرمنگنات موجب صرفه‌جویی ۳۰ تا ۵۰ درصد در مصرف آلوم بشود، می‌توان بطور متوسط ۴۰ درصد کاهش در مصرف آلوم را بازای استفاده از 1mg/L پرمنگنات منظور داشت. با توجه به قیمتهای جهانی این

*- عدد ۲/۲ در موقع استفاده از املاح آهن در کواگولاسیون برابر ۳/۲ است.

**- عدد ۱/۳ نسبت مواد جامد معلق (میلی‌گرم در لیتر) به کدورت (NTU) است. این عدد بین ۱ تا ۲ تغییر می‌کند.

مواد و همچنین قیمتهایی که در بازارهای داخلی کشور (مهر ماه ۱۳۷۴) وجود دارد، می‌توان بر اساس جدول شماره (۳) میزان کاهش هزینه‌هایی که مربوط به خرید مواد شیمیایی می‌شود را برآورد کرد. این برآورد که در جدول (۴) ارائه گردیده است، برای تصفیه‌خانه‌ای در نظر گرفته شده است که میزان مصرف آلوم در آن بطور متوسط برابر A پی پی ام می‌باشد

($A_{ppm}=A\times10^{-6}ton/m^3$).

برای ارائه یک تجسم محسوس از جدول (۴) تصفیه‌خانه‌ای را با ظرفیت تصفیه ۵ متر مکعب در ثانیه که متوسط تزریق آلوم آن ۲۰ppm- در شرایطی که از هیچگونه کمک منعقد کننده‌ای استفاده نمی‌کند (A=۲۰) باشد (مشابه فاز موجود تصفیه‌خانه آب اصفهان) در نظر می‌گیریم با توجه به جدول (۴) :

= تولید اسمی روزانه تصفیه‌خانه

۵×۳۶۰۰×۲۴=۴۳۲۰۰۰ مترمکعب

= مبلغ صرفه‌جویی روزانه (قیمت جهانی)

$(۲۰\times10^{-4}-۱/۸\times10^{-3})$۴۳۲۰۰۰ دلار ۸۶ =

= مبلغ صرفه جویی روزانه (قیمت داخلی)

۴۳۲۰۰۰(۰/۴×۲۰-۵/۵) = ۱۰۸۰۰۰۰ ریال

با توجه به کاهش حجم لجن تولید شده در اثر استفاده از پرمنگنات، باید به این مقدار صرفه‌جویی، مبلغی راکه از هزینه‌های دفع لجن کاسته می‌شود نیز اضافه نمود.

نتیجه گیری :

۱- پرمنگنات پتاسیم یک ماده شیمیایی منحصر به فرد در عملیات تصفیه آب است. این ترکیب که خاصیت اکسیدکنندگی و جذب‌کنندگی را بطور توأم دارد.

۲- پرمنگنات پتاسیم می‌تواند بطور مؤثر و در عین حال اقتصادی جهت کمک به فرآیند کواگولاسیون آبهای سطحی - مخصوصاً با بار آلی زیاد مورد استفاده قرارگیرد.

۳- هنگامی که پرمنگنات با مواد قابل اکسید شدن واکنش می‌دهد، رنگ مشخصه صورتی زایل می‌شود و دی‌اکسید منگنز تشکیل می‌گردد. این محصول جانبی با بار الکتریکی خود و سطح زیاد ذراتش، به فرآیند کواگولاسیون و حذف مواد آلی کمک می‌نماید.

جدول ۳ : قیمت واحد مواد تزریق شونده

نام ماده	قیمت جهانی**	قیمت در ایران*
آلوم	هر تن ۲۵۰ دلار	هر تن ۹۰۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰ ریال
پرمنگنات پتاسیم (به صورت خشک)	هر تن ۱۸۰۰ دلار	هر تن ۵۲۰۰۰۰۰ تا ۵۵۰۰۰۰۰ ریال

* پاییز ۱۳۷۴ ** فهرست بها (۱۹۸۹) [۱۱]

جدول ۴ : ارزیابی قیمت تمام شده یک مترمکعب آب تصفیه شده در صورت استفاده از پرمنگنات

نوع هزینه	قیمت جهانی (دلار)	قیمت در ایران (ریال)
قیمت آلوم مصرف شده ، بدون استفاده از پرمنگنات	$۲/۵\times10^{-4}A$	A
قیمت آلوم مصرف شده ، در صورت استفاده از پرمنگنات	$۱/۵\times10^{-4}A$	۰/۶ A
قیمت 1ppM پرمنگنات مصرف شده	$۱/۸\times10^{-3}$	۵/۵
مبلغ صرفه‌جویی حاصل از کاهش مصرف آلوم	$(A\times10^{-4}-۱/۸\times10^{-3})$	(۰/۴A - ۵/۵)

۴ـ پرمنگنات در محدودهٔ وسیعی از pH که در عملیات تصفیه آب معمول است به نقش خود عمل می‌کند و عموماً در pHهای بالاتر از ۷ سریعتر واکنش می‌دهد.

۵ـ در حالتهای عادی میزان تزریق آن بین ۰/۵ تا ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر بوده ولی در آبهای بسیار آلوده بیشتر است.

۶ـ این ماده یک اکسید کننده است و اگر قبل از کلرزنی بکار رود از مقدار مصرف کلر و همچنین تولید THMها می‌کاهد.

۷ـ تزریق این ماده را می‌توان به صورت چشمی و یا بوسیله یک آنالیزور و در حد میزان بهینه کنترل کرد.

تشکر و قدردانی :

بدینوسیله از زحمات شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان (مرکز تحقیقات و بهره‌وری) که انجام این پروژه را با حمایتهای خود میسر ساختند تشکر می‌گردد.

منابع و مراجع :

1- Jun, M. and Guibai, L. (1993). "Control of Organic Material By Coagulation And Floc-Separation Processes", Wat. Sci. Tech., Vol. 27, No. 11, pp. 47-54.

2- Gibbs, R. J. (1983). @Effect of Natural Organic Coating on the Coagulation of Particles". Environ. Sci. Tech. 17, 237.

3- Narkis, N. and Rebhun, M. (1975). @The Mechanism of Flocculation Processes in the Presence of Humic Substances". J. Am. Water Works Assoc. 67, 101-108.

4- Morel, F. M. M. (1983). "Reactions on Solids Surfaces. Chapter 8 in : Principles of Aquatic Chemistry." John Wiley & Sons. New York.

5- Atkinson, J. W. and Palin A. T. (1972). "Chemical Oxidation in Water Treatment," International Water Supply Association Congress, p E. 9.

6- Masschelein, W. J.,(1989). "Advanced Water Treatment," IHE, Delft, Holland, pp. 2.96-2.100.

7- Ficek, K. J., (1992). "Potassium Permanganate the Unique Water Treatment Oxidant", Carus Chemical Company.

8- Montgomery, J. M., (1985) "Water Treatment Principle & Design", Consulting Eng. INC., pp. 385, 569.

9- Water Treatment Handbook, (1991). Degremont, 6th Edition, Vol. 2, pp. 1212-1213.

10- Kawamura, S., (1991) "Integrated Design of Water Treatment Facilities", John Wiley & Sons, Inc.