مجله بهداشت ایران
سال یازدهم ، شماره (۲ – ۱) ، ۱۳۶۱

کربنات منیزیوم بعنوان منعقدکننده ، بازیابی و استفاده مجدد از آن

دکتر محمود شریعت *
مرتضی کاشفی‌الاصل * *

خلاصه :

جهت جلوگیری از بهدر رفتن آب در تصفیه خانه و همچنین بازیابی و استفاده مجدد ازمنعقدکننده‌شیمیائی ،تصفیه‌آب‌بروش‌کربنات‌منیزیم‌باروشهای غیرمداوم و مداوم مورد بررسی واقع گردید . ۶۰۰ میلیگرم در لیتر کربنات منیزیم که بعنوان دزاژاپتیمم مشخص شده بود ۸۰ درصد کدورت را تقلیل داد ۴۵ درصد کربنات منیزیم با عمل کربن دهی بازیابی گردید . جهت تقلیل سختی آب مخلوط‌کربنات منیزیم و آهک مورد بررسی قرار گرفت . ششصد میلی‌گرم در لیتر کربنات منیزیم و ۲۵۰ میلی گرم در لیتر اکسید کلسیم کدورت آبرا ۹۰ درصد کاهش داده به NTU۲۰رساند . سختی و قلیائیت‌در حدود ۱۰ درصد کاهش‌نشان دادند . در عمل‌کربن دهی ۷۳/۵ درصد کربنات منیزیم و ۶۰ درصدآهک بازیابی گردید که از آنها در روش‌مداوم استفاده گردید .جهت تقلیل هر چه بیشتر سختی از مخلوط‌کربنات منیزیم‌و آهک و کربنات سدیم نیز استفاده گردیدکه‌نتایج مطلوبی بدست نداد .روش دوم یعنی مخلوط‌کربنات منیزیم و اکسید کلسیم‌روش‌انتخابی است . در این روش‌آب بهدر رفته نخواهیم داشت .بدین ترتیب از بهدر رفتن۲۰درصد

دانشیار دانشکده بهداشت
* * – مهندس بهداشت .

آب بهمراه لجن جلوگیری بعمل میآید که با فروش‌آن سود قابل ملاحظه‌ای نصیب سازمان آب خواهد گردید. پودرهای آهک و کربنات منیزیم همه جا فراوان و ارزانتر از املاح آهن و یا آلومینیم هستند که در روشهای معمول بکار میروند. با تعویض مواد منعقدکننده مقداری سودنیز از راه صرفه‌جوئی نصیب سازمان خواهد گردید. مخارج نصب دستگاههای جدید و گاز کربنیک لازم در مقایسه با صرفه‌جوئی و درآمد جدید بسیار ناچیزاست.

مقدمه :

احتیاج روزافزون بشر به آب بدلایل **افزایش** سریع جمعیت، مصارف‌شهری‌وصنعتی و کشاورزی مهمترین مطلبی است که متخصصین و مسئولین امور را به تأمین آب سالم و بهداشتی وادار مینماید.

آب اغلب شهرها از رودخانه و چاه تأمین میگردد که بجهت جلوگیری از انتشار بیماریهای منتقله توسط‌آب و همچنین پالائی احتیاج به بعضی از تصفیه‌ها دارد. بعنوان مثال در تهران سالیانه ۲۹۴ میلیون متر مکعب آب از رودخانه‌های کرج و جاجرود به تصفیه خانه‌ها وارد میگردد (۱) و از هم اکنون مسئولین‌امور دریافته‌اند که با افزایش جمعیت چنانچه منبع جدیدی مورد استفاده قرار نگیردو در حدود سال ۱۳۶۰ با مشکل کمبود آب روبرو خواهیم بود (۲).

درتصفیه خانه‌ها جهت پالایی آب معمولا از املاح آلومینیوم و آهن جهت حذف کدورت ناشی از مواد معلق استفاده میگردد ۱۰ تا ۱۵ درصد آب وارده به تصفیه خانه بهمراه لجن ناشی از عمل انعقاد بهدر میرود و این با مسئله کمبود آب که با آن روبرو هستیم فوق‌العاده واجد اهمیت است. اگر تصفیه‌خانه در شرایط بدی باشد این مقدارآب بهدر رفته به ۲۰ درصد خواهد رسید. در این مقاله پیش‌بینی شده است که با استفاده‌از کربنات منیزیم بعنوان منعقد کننده و با عمل کربنه کردن میتوانیم مقداری ازمنعقدکننده را بصورت محلول درآورده و مجددا" مورد استفاده قرار دهیم و ضمنا" بطور کامل‌از بهدر رفتن آب بهمراه لجن جلوگیری بنمائیم. صرفه جوئی در مواد منعقد کننده و همچنین آب علاوه براینکه آب مصرفی عده‌ای از مردم محروم را تامین مینماید منافعی جهت تشکیلات تصفیه خانه در برخواهد داشت.

مقالات منتشره :

استفاده از کربنات منیزیم بعنوان منعقد کننده مورد توجه عده بسیار قلیلی از

مهندسین بهداشت و کارشناسان فن تصفیه آب قرار گرفته است و تعداد بسیار محدود مقالات علمی در این زمینه منتشر شده است .

اولین بار Flentge درسال ۱۹۲۷ (۳) گزارش داد که چنانچه از آهک اضافی برای رسوب منیزیم در آب خام استفاده شود آب شفاف‌تری در تصفیه خانه بدست خواهدآمد. پس از آن مطالعاتی بکمک جارتست انجام داد و نشان داد که کلرور منیزیم می‌تواند بعنوان یک منعقدکننده بکار رود . در سال ۱۹۶۶ Lecompte (۴) استفاده از کربنات منیزیم بعنوان منعقد کننده را بنام خود ثبت نمود و از آنجائیکه کربنات منیزیم بصورت تجارتی موجود نبود با افزودن اکسید منیزیم به آب محتوی بی‌کربنات‌کلسیم آنرا تهیه نمود .

$$MgO + Ca(HCO3) \longrightarrow MgCO3 + CaCO3 + H20$$

از این محلول بعنوان منعقد کننده استفاده کرد که ضمنا مقداری آهک بعنوان کمک منعقد کننده به آن می‌افزود. Lecompte در مطالعات بعدی موفق شد با افزودن گاز CO_2 به لجن تولیدی منیزیم را بصورت بی‌کربنات منیزیم بازیابی نماید .

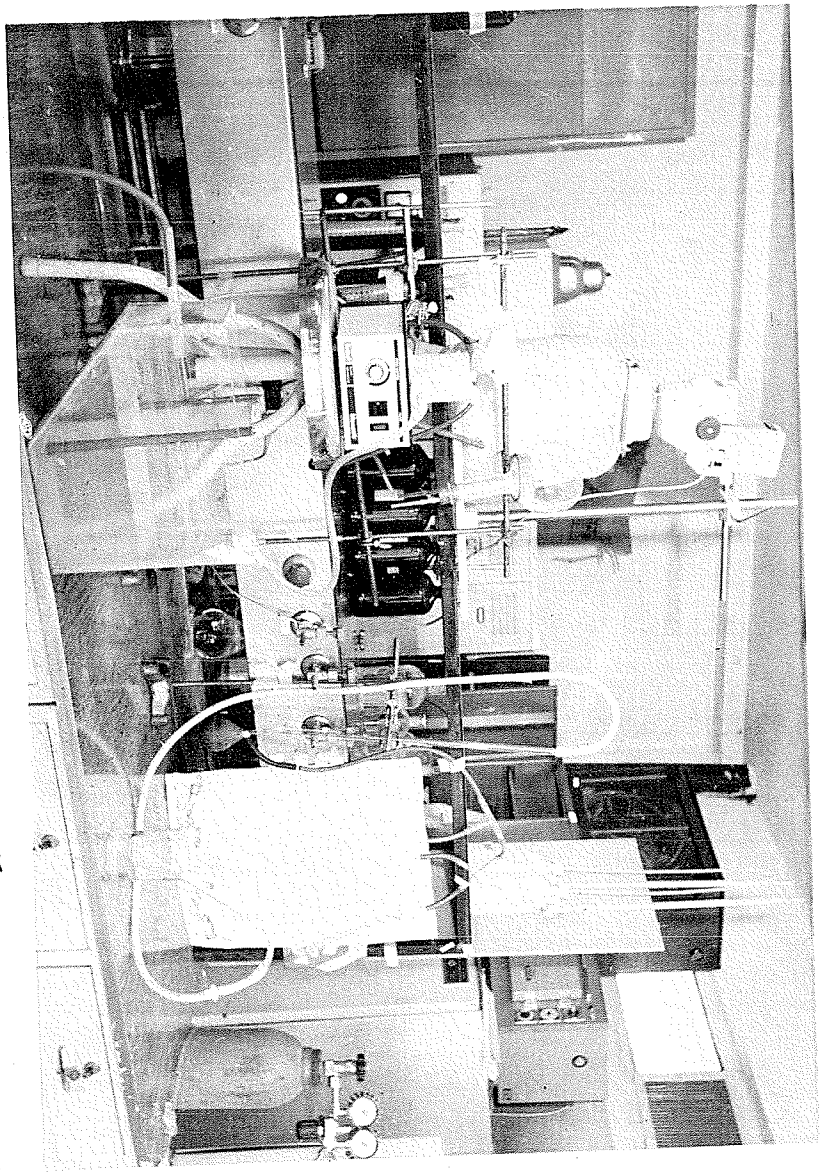
Black و همکاران (۴) در سال ۱۹۷۱ بر اساس تجربه Lecompte وبا واردنمودن CO_2 به فاضلاب یککارخانه تهیه‌آهک موفق شدند اولا" شرایط پساب فاضلاب رابه حداستانداردسازمان محیط زیست مربوطه برسانند و ثانیا مقادیر زیاد آهک باخلوص ۹۳تا ۹۵ درصد و پودر کربنات منیزیم بازیابی نمایند .

درسال ۱۹۷۲تامپسون و همکاران (۵) در یک مطالعه لابراتواری تعدادی نمونه آب طبیعی و مصنوعی ساخته شده در آزمایشگاه را بکمک منعقد کننده کربنات منیزیم همراه با آهک‌و سولفات آلومینیوم تصفیه نمودند و نتیجه گرفتند که در این روش تصفیه‌حجم‌لجن تولیدی از روشهای انعقاد بکمک آلومینیم و آهن فوق‌العاده کمتر است .

وسائل و روشها :

۱ ـ وسائل : در این بررسی از دو روش غیر مداوم و مداوم استفاده شده است‌دربررسی غیر مداوم از دستگاه جارتست استفاده گردید .جهت بررسی بروش مداوم راکتوری مطابق شکل (۱ و ۲) از فایبرگلاس ساخته شد . راکتور شامل دو قسمت حوضچه انعقاد و حوضچه ته‌نشینی میباشد . ضمائم آزمایش مداوم عبارتند از : تغذیه کننده پودر ـ تغذیه کننده مایع ـ ظرف مخلوط کن ـ بهم زن مکانیکی ـ دستگاه روزنه‌دار جهت کنترل گاز CO_2 و سیلندر گاز CO_2 میباشد .لوله خروجی آب تصفیه شده را به ظرف

نمونه‌برداری هدایت مینماید .



شکل ۱ — دستگاههای بکار رفته در آزمایش مداوم

روشها :

دو قسمت اصلی در این بررسی منظور نظر بوده است :

۱ ــ آزمایش و مقایسه کیفیت آب خام ورودی و آب تصفیه شده که پارامترهای مربوطه همگی با روشهای ذکر شده در کتاب استاندارد متد (۶) تعیین مقدار شده‌اند .

۲ ــ بررسی اپتیمم دوزاژ ماده منعقدکننده و اپتیمم دوزاژ گاز CO_2 جهت بازیابی منعقد کننده . بازیابی کربنات منیزیم از رسوب و یا لجن تولید شده در حوضچه‌ته‌نشینی توسط افزودن گاز CO_2 به محیط انجام میگیرد . طی راکسیون زیر کربنات منیزیم ته نشین شده ویا هیدراکسید منیزیم تولیدی مجددا بصورت بی‌کربنات در آمده در آب محلول میگردد .

$$MgCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Mg(HCO_3)_2$$

$$Mg(OH)_2 + 2CO_2 \longrightarrow Mg(HCO_3)_2$$

برای این منظور رسوب حوضچه‌های ته نشینی و انعقاد جمع‌آوری شده تحت تأثیرگاز CO_2 **قرار داده** میشد پس از گذشت مدت زمان لازم که در هر مورد مشخص میگردید مخلوط را صاف‌نموده ومیزان کربنات منیزیم بازیافتی درمحلول تعیین مقدار میگردید و وزن‌رسوبی که بعنوان لجن نهائی میبایستی دفع گردد تعیین میگردید .

کلیه بررسی‌ها هم بروش غیر مداوم و هم بروش مداوم انجام گردیده‌اند .

روش غیر مداوم :

در بشرهای یک لیتری محتوی آب خام عمل انعقاد بکمک دستگاه جارتست انجام گردیده کارآئی منعقد کننده در تصفیه آب با آزمایش pH و کدورت و قلیائیت و سختی بررسی و مقایسه میگردید . میزان کل لجن تولیدی نیز هم از نظر حجمی وهم ازنظروزنی معین میگردید .رسوب‌حاصله جمع آوری و کربن دهی میشد و میزان بازیافتی منعقدکننده در قسمت محلول آزمایش شده و وزن کل رسوب که میبایستی بعنوان لجن نهائی دفع گردد از باقیمانده روی صافی تعیین مقدار میگردید .

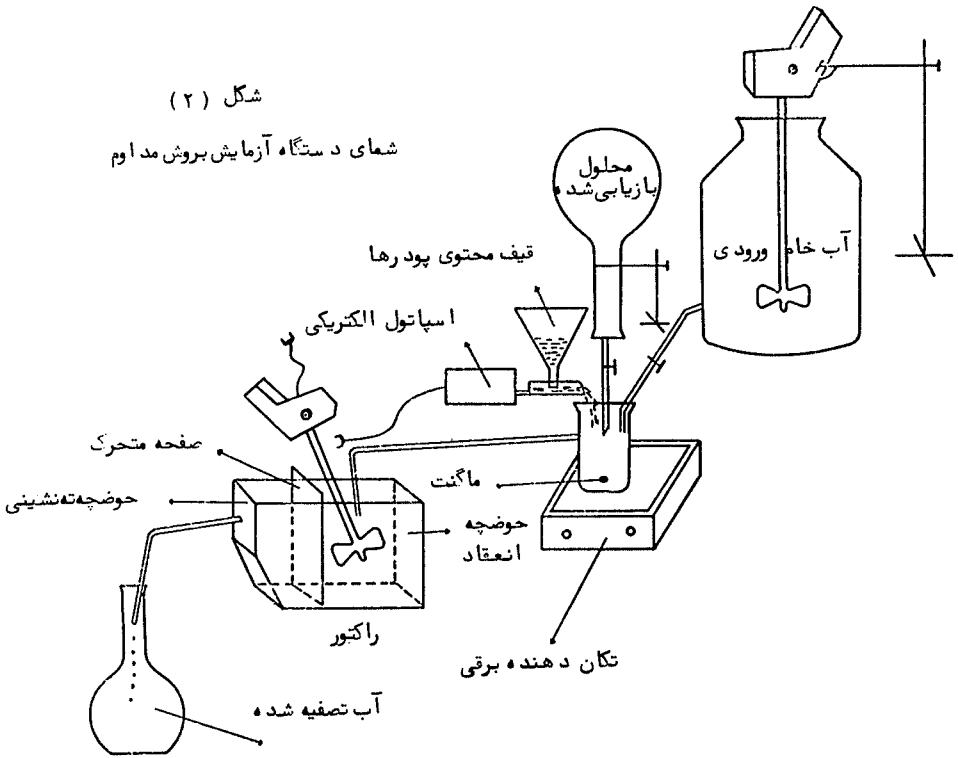
روش مداوم :

در راکتوری که بدین منظور ساخته شده است شکل (۱ و ۲) همزمان آب خام، منعقدکننده کربنات منیزیم وکربنات منیزیم بازیافتی وارد گردیده پس از مخلوط شدن‌در حوضچه مخلوط‌کردن به حوضچه انعقاد راکتورهدایت میگردد . در این جا چند چیزباید مورد دقت قرار میگرفت .

اول ــ جمع پودرمنعقد کننده و محلول بازیافتی طوری تعبیه میشد که‌مقدار افزودنی

شکل (۲)

شمای دستگاه آزمایش بروش مداوم



برای هر لیتر آب ورودی دقیقا برابر اپتیمم دوزاژ باشد.

دوم ـ زمان در حوضچه مخلوط‌کردن یکدقیقه معیّن شده بود بدین منظور گنجایش حوضچه مخلوط‌کردن دقیقا ۱۰۰ میلی‌لیتر انتخاب شده بود و میزان آب ورودی نیز دقیقا ۱۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه بود.

سوم ـ زمان‌ماند در قسمت‌راکتور یکساعت تعیین شده بود، حجم مؤثر راکتور ۶۰۰۰ میلی‌لیتر انتخاب گردیده است و میزان جریان از رابطه $t=\frac{V}{Q}$ محاسبه شده بودکه میزان جریان ۶۰۰۰ میلی‌لیتر در ساعت و یا ۱۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه خواهد بود.

مولفین زمان ماند درحوضچه انعقاد را ۱ تا ۴ ساعت‌انتخاب نموده‌اند (۷). دراین آزمایش‌حداقل زمان ماند منظور شده است. معذالک‌برای بررسی سایر زمانهای‌ماندگاهی زمان‌ماند ۲ ساعت نیز آزمایش میگردید که در آن صورت میزان آب ورودی، پودر منعقد کننده و محلول بازیافتی به نصف تقلیل داده میشد.

چهارم ـ برای مخلوط‌کردن آب خام ورودی و جلوگیری از رسوب مواد آن از بهم زن مکانیکی استفاده میشد. عمل مخلوط‌کردن در حوضچه مخلوط‌کردن توسط بهمزن مغناطیسی انجام میگردید. تنظیم حرکت مایع در حوضچه انعقاد نیز توسط یک بهمزن مکانیکی انجام میشد که با قرار دادن یک ترانسفورماتور در مسیر جریان‌الکتریسیته‌سرعت به حداقل کاهش داده شده بود.

کارهای انجام شده:

تصفیه آب بکمک کربنات منیزیم:

آزمایش بطریقه غیر مداوم:

تعیین اپتیمم دوزاژکربنات منیزیم: دریک‌سری‌بشرمحتوی‌یک‌لیترآب خام با کدورت ۲۰۰ واحدNTU مقادیر مختلف کربنات منیزیم افزوده و بکمک دستگاه جار عمل انعقاد انجام گردید پس‌از انقضای مدت از نصف ارتفاع بشر نمونه‌برداری و آزمایشات pH و کدورت بر روی آن انجام گردید که نتایج آن در جدول شماره (۱) نشان داده‌شده است. اپتیمم‌بدست آمده از جدول فوق (۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات منیزیم) مجددا برروی سه نمونه آزمایش گردید و از نصف ارتفاع نمونه‌برداری شده علاوه بر آزمایشهای pH و کدورت آزمایشات سختی ـ قلیائیت و باقیمانده خشک نیز بررسی گردیدند.

دراین‌روش‌میزان‌کل رسوب مرطوب ۸۸۴ میلی‌گرم درلیتر بود که پس از یکساعت‌حرارت در ۱۰۳ درجه مقدار رسوب خشک ۵۳۰/۴ میلی‌گرم در لیتر شد.

تعیین اپتیمم گاز انیدرید کربنیک مصرفی :

رسوب حاصل از یک لیتر آب را بطور کامل در سیلندرهای ۲۵۰ میلی‌لیتری نموده سپس گاز CO_2 را بکمک دستگاه روزنه‌دار با جریان ۱۰۷ میلی‌لیتر در دقیقه در سیلند جریان دادیم لوله آورنده گاز حتی‌الامکان در انتهای سیلندر قرار داده شده تا فاصله گاز در داخل محلول بمیزان کافی تعبیه شده باشد و نیز فشار جزئی گاز CO2 در داخل بکمک در پوش شیشه‌ای بالا نگه داشته شد تا حتی‌الامکان از بهدر رفتن گاز CO2 جلو بعمل آید . میزان کدورت مخلوط پس از هر سه دقیقه عبور گاز CO2 آزمایش گردید که ن آن در جدول (۲) آمده است .

بازیابی کربنات منیزیم :

آزمایش اپتیمم دوزاژ CO2 نشان داد که ۹۶۰ میلی‌لیتر گاز CO2 در مدت ۹ دقیقه بهترین بازده را میدهد مخلوط صاف گردیده ابتدا میزان رسوب نهائی که بایستی د گردد معین شد که رسوب مرطوب ۶۹۸ میلی‌گرم میباشد که وزن خشک آن برابر ۴۰۳ میلی برای هر لیتر آب خواهد بود . بر روی مایع صاف شده تعیین مقدار منیزیم و بی‌کرب بعمل آمد و میزان کربنات منیزیم بازیافتی ۲۷۰/۴۸ میلی‌گرم برای هر لیتر آب معی گردید . با توجه به میزان کربنات منیزیم اضافه شده (۶۰۰ میلی‌گرم) میزان بازیافت ۴۵ درصد میباشد .

آزمایش تائیدی بروش غیر مداوم : در این روش مطابق آزمایش قبل ۱۰۰۰ میلی آب‌خام با کدورت NTU۲۰۰ بکار گرفته شد ولی بعوض ۶۰۰ میلی گرم در لیتر کربنا منیزیم محلول بازیافتی بعنوان ۲۷۰ میلی‌گرم افزوده گردید و مقادیر مختلف پو کربنات کلسیم از ۲۰۰ تا ۳۲۵ میلی گرم بآنها اضافه شد و عملیات عینا مثل تکرار گردید و نتیجه چنین شد که میبایستی همان ۳۳۰ میلی‌گرم کربنات منیزیم ر افزوده گردد و نتیجتا آزمایشات و محاسبات قبلی را تأیید نمود .

روش مداوم :

در این آزمایش زمان ماند در حوضچه مخلوط‌کردن یک دقیقه و در حوضچه ا یکساعت و میزان جریان ۱۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه میباشد . اپتیمم دوزاژ ۶۰۰ میلی کربنات برای هرلیتر آب میباشد و بدین ترتیب ۶۰ میلی‌گرم در دقیقه میبایستی به‌ح مخلوط‌کردن وارد گردد . طبق آنچه در قسمت بازیابی کربنات منیزیم گفته شد ۷۰ میلی گرم کربنات منیزیم مجددا توسط عمل کربن دهی بازیابی میگردد که میبایستی

مقدار اصلی مصرفی کربنات منیزیم کسر گردد . (۳۳۰ = ۲۷۰ ـ ۶۰۰) بنابر این در هر دقیقه ۳۳ میلی‌گرم از پودر کربنات منیزیم توسط تغذیه کننده اضافه میگردد . این عمل توسط کنترل اسپاتول الکتریکی که بعنوان تغذیه کننده استفاده میشود و بر روی آن قیف محتوی کربنات منیزیم نصب گردیده است درطی آزمایشات مکرر با دقت زیاد میسرگردید. میزان محلول بازیافتی کربنات منیزیم در دقیقه ۲۷ میلی گرم میباشد (۲۷ = ۳۳ـ ۶۰) و از آنجائیکه غلظت محلول بازیافتی ۲۷۰ میلی‌گرم در ۲۰۰ میلی لیتر بود بعبارت دیگر ۲۰۰ میلی‌لیتر از محلول ۱۳۵۲ میلی‌گرم در لیتر کربنات منیزیم بازاء تصفیه هر یک‌لیتر آب بدست میآید .

میزان‌جریان محلول‌بازیافتی از فرمول ۲۰ ≠ ۱۹/۹۹ = $\frac{۲۷ \times ۱۰۰}{۱۳۵۲}$ تعیین گردید که دقیقا به حوضچه مخلوط‌کردن وارد میگردید .

بکار انداختن جریان دائم :

ابتدا برای اینکه اشکالی از نظر زمان ماند پیش نیاید ۶۰۰۰ میلی‌لیتر آب خام با کدورت ۲۰۰ NTU در راکتور اضافه گردیده بازاءهر لیتر آن ۶۰۰ میلی‌گرم کربنات‌منیزیم افزوده و بمدت ۱ دقیقه با دور ۱۸۰ دور در دقیقه و بمدت ۱۵ دقیقه با ۱۵ دوردردقیقه مخلوط نموده و سپس مدت‌یکساعت بحالت آرام گذاشتیم بماند . بکمک پوآر لاستیکی رسوب حاصله جمع‌آوری شد تا جهت بازیابی کربنات منیزیم بکار رود .

توضیح اینکه مقدار کافی محلول بازیافتی در ظرف مخصوص قبلا قرار داده شده‌بود و نیز ارتفاع هر یک از قسمتها طوری تنظیم گردیده بود که جریان بطریق نیروی ثقل از قسمتی بقسمت دیگر منتقل گردد . پس از آنکه اطمینان نمودیم که مقادیر اضافه شده آب خام و محلول بازیافتی و پودر کربنات‌منیزیم با تقریب نسبتا زیادی با میزان تعیین شده توسط محاسبه مطابقت‌مینماید راکتوربمدت ۶ ساعت در حال کار نگه داشته شد ودرفواصل یکساعت از آب‌خام ورودی واز آب تصفیه شده نمونه‌برداری و آزمایش بعمل آمد تا میزان کارآئی سیستم معاینه و محاسبه گردد (جدول ۳) آزمایش بازمان ماند دو ساعت تکرار گردید و چون میزان کدورت آب تصفیه شده ۴۰NTUو pH آن ۸/۹ بدست آمدواز آنجا که نتایج بسیار شبیه به زمان ماند یکساعت بود از ادامه آزمایشات صرفنظر شد .

استفاده از کربنات منیزیم و آهک :

با مشاهده نتایج آزمایشات آب‌خام و تصفیه شده به این نتیجه رسیدیم که افزودن

کربنات‌منیزیم کدورت آب خام را بمیزان ۸۰ درصد تقلیل‌میدهد ولی سختی کل و دائم و قلیائیت آب‌تصفیه شده نسبت به آب‌خام افزایش قابل توجهی نموده است برای‌رفع این مشکل آزمایش توأم کربنات منیزیم و اکسیدکلسیم بعنوان منعقد کننده بررسی گردید .

روش غیر مداوم :

بررسی اپتیمم دوزاژ : ابتدا سعی بر آن شد که در مصرف پودرکربنات منیزیم‌صرفه‌جوئی شود و آزمایش اپتیمم دوزاژ با مقدار ثابت آهک و مقادیر مختلف کربنات منیزیم بعمل‌آمد (جدول ۱) ولی چون کدورت آب تصفیه شده بمیزان دلخواه تقلیل‌نیافته‌است تصمیم گرفته‌شده است که اپتیمم دوزاژ کربنات‌منیزیم ثابت منظور گردید و مقادیرمختلف آهک آزمایش گردد (جدول ۱) بدین ترتیب اپتیمم دوزاژ مخلوط‌کربنات منیزیم و آهک بترتیب ۶۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد خصوصیات آب تصفیه شده در قسمت دوم‌جدول (۳) نشان‌داده شده است . میزان لجن تولیدی در این آزمایش ۲۵۵۹میلیگرم درلیتر رسوب مرطوب‌وحجم آن ۲۵ میلی‌لیتر بود و یکساعت حرارت ۱۰۳درجه‌سانتیگراد وزن رسوب را به ۱۵۳۵ میلی‌گرم در لیتر تقلیل داد .

تعیین اپتیمم گاز کربنیک : روش‌آزمایش مانند دفعه قبل است با این تفاوت که حجم مخلوط آب‌ولجن دراین روش ۳۵۰ میلی‌لیتر است (جدول ۲) . نتیجه آنکه جهت‌بازیابی کربنات‌منیزیم وآهک بایستی ۱۰۷۰ cm^3 گاز انیدرید کربنیک برای رسوب هر یک لیترآب بکار رود که‌این عمل درطی مدت ده دقیقه با جریان ۱۰۷ سانتیمتر مکعب در دقیقه‌انجام گردید .

بازیابی کربنات منیزیم و آهک : محتوی سیلندر پس‌از افزودن گاز انیدرید کربنیک بکمک پمپ خلاء صاف گردید میزان‌کل رسوب مرطوب که میبایستی دفع گردد ۱۸۴۹ میلی گرم میباشد (وزن خشک ۱۰۸۵ میلی‌گرم) .آزمایش‌تعیین مقدار منیزیم و آهک در محلول صاف شده میزان بازیافتی کربنات منیزیم و آهک را بترتیب ۴۴۰ و ۹۸ میلی‌گرم در لیتر بازاء رسوب یک لیتر آب نشان داد .آزمایش تائیدی با مواد بازیافتی تکرار شد که مواد بازیافتی را بعنوان قسمتی از منعقد کننده به یک لیتر آب افزودیم و سپس تفاضل آنها (۱۶۰میلی‌گرم کربنات منیزیم و۱۵۲ میلی گرم آهک) نیز بصورت پودر اضافه شده‌مانند قبل‌ادامه شد و مشاهده گردید که آزمایشات قبلی و محاسبات را تأیید مینماید .

روش مداوم :

اصول آزمایش و زمانهای ماند عینا مانند دفعات قبل است و چون ۴۴۰ میلی گرم در لیتر کربنات منیزیم بازیابی شده است تنها میبایستی ۱۶۰ میلیگرم در لیتر از پودر اضافه گردد وهمچنین در مورد آهک ۹۸ میلیگرم در لیتر بازیابی گردیده است که تفاضل تا اپتیمم دوزاژ یعنی ۱۵۲ میلیگرم بصورت پودر افزوده میگردد . محلول بازیافتی درمحل مخصوص ریخته شد و سیستم طوری تعبیه شد که در هر دقیقه ۳۵ میلی‌لیتر به حوضچه مخلوط کردن وارد گردد بدین ترتیب در هر دقیقه ۴۴ میلی‌گرم کربنات منیزیم و ۹/۸ میلیگرم آهک بازیافتی به‌سیستم وارد خواهد شد . قیف محتوی پودر دستگاه تغذیه‌کننده از مخلوط پودرها که به نسبتهای ۱۶ قسمت کربنات منیزیم و ۱۵/۲ قسمت آهک مخلوط شده بود پر گردید . سیستم مداوم با زمان ماند یکساعت بکار گرفته شد و پس ازگذشت۶ ساعت آزمایشات بر روی اب خام و آب تصفیه انجام گردید تا کارآئی سیستم بررسی گردد (جدول ۳ آزمایش بازمان‌ماندوساعت تکرارگردیدکه‌نتایج‌آن‌بسیار نزدیک به‌نتایج ذکرشده درجدول (۳) بود .

استفاده از کربنات منیزیم وآهک وکربنات سدیم : بمنظور کاهش هر چه بیشتر سختی موجودآزمایش مخلوط کربنات منیزیم‌وآهک‌وکربنات سدیم مورد بررسی قرارگرفت. دربررسی بروش غیرمداوم کوشش برای یافتن اپتیمم دوزاژجهت کربنات سدیم متأسفانه نتیجه‌ای نبخشید بدین‌ترتیب که هرچه بر مقدار کربنات سدیم افزوده میگردید کدورت آب تصفیه شده بعلت معلق ماندن ملکولها افزایش مییافت وچون از آزمایش غیر مداوم نتایج مطلوبی بدست نیآمد از ادامه آزمایش صرفنظر گردید.

بحث :

آب خام مورد آزمایش کدورتی معادل ۲۰۰ واحد NTU وسختی تام ۱۷۰ و قلیائیت ۱۳۸ میلی گرم درلیتر کربنات کلسیم دارد با اپتیمم دوزاژ ۶۰۰ میلی گرم در لیتر کربنات منیزیم ۸۰% کدورت نقصان پیدا نموده و کدورت از ۲۰۰ به ۴۲ NTU میرسد . pH از۷/۶ به ۹/۰ افزایش پیدا نموده ، سختی و قلیائیت هر کدام افزایش قابل توجهی نشان میدهند عملکربن دهی به مدت ۹دقیقه جمعا ۹۶۰ سانتیمتر مکعب موجب بازیابی ۴۵% ازکربنات منیزیم میگردد . حجم لجن تولیدی در این آزمایش ۱۲ سانتی‌متر مکعب برای هرلیتر آب و وزن رسوب پس از کربن دهی که میبایستی دفع گردد برابر با۶۹۸ میلی گرم رسوب مرطوب ویا ۴۰۳ میلی گرم رسوب خشک برای هر لیتر آب

خواهد بود . در روش مداوم با زمان ماند یکساعت ، کربنات منیزیم بازیافتی بعنوان قسمتی ازماده منعقد کننده بکار گرفته شد بدین‌ترتیب که۲۷ میلی‌گرم در دقیقه از محلول بازیافتی واردگردید مابقی یعنی ۳۳ میلی گرم در دقیقه بصورت پودر از دستگاه تغذیه کننده واردگردید . روش مداوم نتایج آزمایش غیر مداوم را تأیید نمود . آزمایش‌با زمان ماند دو ساعت تکرار گردید و نتایج بدست آمده مختصر تقلیل درمیزان کدورت را نسبت به زمان ماند یکساعت نشان داد . میزان سولفات آب از ۲۹۰ میلی گرم در لیتر ۱۰۰ میلی گرم درلیتر تقلیل یافته ولی برعکس میزان منیزیم افزایش فوق العاده ای نشان‌داد که نتیجتاباعث افزایش سختی غیر کربناته بآب گردیده است . نظربااینکه حذف سختی آب نیز بعنوان قسمتی ازعملیات تصفیه آب مطلوب است لذاتصمیم گرفته شد که‌ازمایش بکمک افزودن آهک تکمیل گردد .

آزمایش اپتیمم دوزاژ جهت مخلوط‌کربنات‌منیزیم وآهک‌نشان داد که میزان‌کربنات منیزیم رانمیتوانیم تقلیل دهیم ومقدارآهک باآزمایشات مکرردرحدود ۲۵۰ میلی گرم در لیتر مشخص‌گردید . آزمایش بطریقه مداوم وغیرمداوم با ۶۰۰ میلی گرم کربنات منیزیم و ۲۵۰ میلیگرم آهک میزان کدورت آب را۹۰ درصدتقلیل داد و از ۲۰۰ واحد به۲۱رسید ضمنا میزان سختی و قلیائیت نیز به‌ترتیب ۹و۸ درصدتقلیل یافتند . ده‌دقیقه جریان‌گاز انیدرید کربنیک‌باسرعت ۱۰۷سانتی مترمکعب دردقیقه باعث شد ۷۳/۵% کربنات منیزیم و۴۰% آهک بازیابی گردند . حجم کل رسوب ۲۵ سانتی‌مترمکعب برای هر لیتر آب و وزن رسوبی که بایددرانتها دفع گردد ۱۳۵۸ میلی گرم بودکه پس ازیکساعت حرارت ۱۰۳وزن رسوب به ۸۰۵ میلی گرم تبدیل گردید . ازمایش مداوم بااستفاده ازمحلول‌بازیافتی‌انجام میگرفت ودر هردقیقه ۱۶ میلی‌گرم کربنات منیزیم و ۱۵/۲ میلی گرم آهک اضافه گردیده مابقی آن (۴۴میلی‌گرم کربنات منیزیم و ۹/۸ میلی گرم آهک) از محلول بازیافتی‌تأمین میگردد .

آزمایش‌بازمان‌ماند ۲ساعت‌تکرارگردیدوکدورت ازمیزان۲۱واحد به۱۹ NTU تقلیل یافت وسایر خصوصیات مانند قبل بود. pHآب پس از این‌آزمایش هنوز در حد استاندارد (pH = ۶/۵ ــ ۹/۵) میباشد . چون درنظر داشتیم که سختی تام را از ۱۴۰میلی گرم درلیتر نیزتقلیل دهیم برای مرتبه سوم آزمایش تصفیه آب بکمک مخلوط کربنات منیزیم واهک و کربنات سدیم تکرار گردید . ولی‌مشاهده شد که هرچه میزان کربنات سدیم‌بیشتر افزوده گردد از سختی کل کاسته میشود ولی بعلت عدم‌تراکم ملکولها کدورت در محیط باقی میماند و مواد معلق بقدر کافی متراکم نمیگردیدند تا بتوان از آنها برای بازیابی

املاح استفاده نمود و از طرفی کدورت زیاد آب جهت صافیهایی که در تصفیه آب بکار میروند بسیار نامتناسب بود لذا نتایج این قسمت منفی تلقی گردیده و از ادامه آزمایش صرفنظر شد .

در روش مخلوط کربنات‌منیزیم و آهک فلکولها خیلی بزرگتر از روش کربنات منیزیم تنها هستند و با سرعت بیشتری ته‌نشین میشوند . گرچه حجم رسوب بازمان‌ماندیکساعت قدری بیشتر نمایش داده شده است ولی چنانچه زمان ماند را به ۲ تا ۴ ساعت که بیشتر مولفین توصیه مینمایند افزایش دهیم مسلما حجم رسوب خیلی نقصان خواهد یافت. بازیابی‌کربنات منیزیم در روش‌دوم خیلی بیشتر از روش اول است (۷۳/۵%) وعمل‌کربن‌دهی در دو روش چندان تفاوتی نداردو فقط یک دقیقه بازاء رسوب هر لیتر افزایش یافته است لذا روش دوم ترجیح داده میشود .

نتیجه :

تصفیه بکمک منعقد کننده‌های کربنات منیزیم و آهک کاملا عملی است و کدورت در زمان ماند یکساعت که کمترین زمان ماند پیشنهادی در سیستمهای تصفیه آب است بقدر کافی تقلیل مییابد . اب شستشوی صافیها مجددا باول سیکل وارد شده علاوه برآنکه‌آب ازدست‌رفته نخواهیم داشت‌رل کوچکی‌بعنوان‌کمک منعقد کننده ایفاء خواهدنمودرسوب‌ها در انتها در حوضچه کربن‌دهی و بر روی صافی آخری گرفته خواهند شد و یک جا دفع خواهند گردید . در تصفیه خانه‌هائیکه از منعقد کننده‌های املاح آهن و یا آلومینیوم استفاده میشود بهدر رفتن۱۵ درصد از آب ورودی بهمراه لجن معمولی است که‌قسمتی‌از این آب بهمراه لجن تولیدی دفع شده و قسمتی نیز پس از شستشوی صافیهادفع میگردد (۷) . در بعضی از سیستمهای تصفیه که مدتی کار کرده‌اند بعلت نشست شیرها و فاسد شدن واشرها و نقص‌هائی که تدریجادر کار صافیها پیش میآیند میزان بهدر رفتن اب به ۲۰ درصد نیز ممکن است برسد . در این‌روش بهیچوجه آب بهدر رفته نخواهیم داشت زیراپس از بازیابی کربنات منیزیم و آهک مخلوط صاف گردیده آب صاف شده قسمتی از منعقد کننده شیمیائی راتشکیل میدهد و رسوب بصورت کیک دفع میگردد . چنانچه این روش جهت تصفیه‌آب بکار گرفته شود تنها یک حوضچه کربن‌دهی و یک صافی از نوع سانتریفوژ ویا صافی‌خلاءو احتمالا دو پمپ یکی جهت‌نقل و انتقال لجن‌تولیدی بحوضچه کربن دهی و دیگری جهت پمپاژ آب صاف شده به ابتدای سیستم نیاز میباشد .

با توجه به حجم و ارزش‌زیاد آب بازیافتی که‌از بهدر رفتن آن جلوگیری نموده‌ایم

مخارج اولیه نصب این دستگاهها وهمچنین گازکربنیک مورد نیاز کوچک جلوه می‌کنـــد. بعلت‌وجود ذرات‌شن و هیدراکسید منیزیم و آهک کمبود مواد کلوئیدی‌بازدهی‌سانتریفوژ بسیار مناسب بوده وبا اشکالات زیادی مواجه‌نخواهد گردید.

آب صرفه‌جوئی شده میتواند مصرفی آب آشامیدنی جمعیت زیادی را تأمین نمایـد مثلا در مورد تهران که‌مطابق آمار سال ۱۳۵۳ سالیانه ۲۹۴ میلیون متر مکعب آب وارد تصفیه خانه میگردد (۸) درصد صرفه جوئی درآن حجمی درحدود ۴۴ میلیون متر مکعب در سال خواهد بود.

مصرف سرانه آب در تهران ۱۵۰ لیتر در روز میباشد (۸)، بدین ترتیب ملاحظـه میشود که هر ساله آب صرفه‌جوئی شده میتواند مصرف آب حدود یک میلیون نفررا تأمین نماید و با توجه به کمبود آب در تهران و سایر نقاط ایران که هم اکنون مسئولین امر را، بفکر واداشته است این رقم صرفه‌جوئی و تأمین آب برای یک میلیون نفر فوق‌العاده‌حائز اهمیت است.

از طرفی چنانچه حداقل آب بها را ۷/۵ ریال برای هر متر مکعب در نظر بگیریـم سازمان آب میتواند ۳۳۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال به درآمد خود اضافه نماید.

این‌رقم نشان میدهد که صرفه‌جوئی یکسال آب میتواند بخوبی مخارج‌سرمایه‌گذاری اولیه را مستهلک نماید و تنها فروش آب اضافی صرفه جوئی شده مخارج سیستم در همـه سال را تأمین خواهد نمود. استفاده از این سیستم علاوه بر صرفه‌جوئی درآب‌وجلوگیری از بهدر دادن آب ارزان نیز میباشد. تهیه پودر کربنات منیزیم و آهک تقریباً در همه جای ایران میسر است و هم اکنون کارخانجات فراوانی داریم که گاز کربنیک تولید نموده و عرضه مینمایند. بنا براین بمحصولات خارجی بهیچوجه نیاز نبوده و از این نظر خود کفا خواهیم بود.

جدول شماره ۱ ــ تعیین اپتیمم دوزاژ منعقد کننده‌ها

روش تصفیه	درجه‌حرارت سانتیگراد	کربنات‌منیزیم میلیگرم درلیتر	آهک میلیگرم‌در لیتر	کربنات‌سدیم میلیگرم در لیتر	PH آب خام	PH پس‌از انعقاد	کدورت‌آب تصفیه‌شده MTU
	۱۹	۳۰۰	—	—	۷/۵	۸/۹	۹۰
	۱۹	۴۰۰	—	—	۷/۵	۹/۵	۵۹
	۱۹	۵۰۰	—	—	۷/۵	۹/۷	۴۴
کربنات	۱۹	۶۰۰	—	—	۷/۵	۹/۸	۴۲
منیزیم	۱۹	۷۰۰	—	—	۷/۵	۹/۸	۵۱
	۲۲	۳۰۰	۲۰	—	۷/۵	۸/۹	۱۰۰
	۲۲	۴۰۰	۲۰	—	۷/۵	۹/۱	۸۷
کربنات	۲۲	۵۰۰	۲۰	—	۷/۵	۹/۱۵	۸۰
منیزیم	۲۲	۶۰۰	۲۰	—	۷/۵	۹/۲	۹۰
+ آهک							
	۲۰	۶۰۰	۵۰	—	۷/۵	۷/۹	۷۵
کربنات	۲۰	۶۰۰	۱۰۰	—	۷/۵	۸/۱	۴۷
منیزیم	۲۰	۶۰۰	۲۰۰	—	۷/۵	۸/۲۵	۳۵
+	۲۰	۶۰۰	۲۵۰	—	۷/۵	۸/۴	۲۰
آهک	۲۰	۶۰۰	۳۰۰	—	۷/۵	۹/۱	۲۰
	۲۰	۶۰۰	۴۰۰	—	۷/۵	۱۰/۲	۲۰
کربنات	۲۰	۶۰۰	۲۵۰	۲۰	۷/۵	۸/۸	۷۸
منیزیم	۲۰	۶۰۰	۲۵۰	۳۰	۷/۵	۹/۰	۹۰
+ آهک	۲۰	۶۰۰	۲۵۰	۴۰	۷/۵	۹/۳	۹۲
+ کربنات سدیم	۲۰	۶۰۰	۲۵۰	۵۰	۷/۵	۹/۵	۱۰۲

جدول شماره ۲ ـ تعیین اپتیمم مصرف گاز CO_2 جهت عمل کربنه‌کردن

روش تصفیه	حجم مخلوط آب و لجن	زمان عبور گاز دقیقه	حجم گاز CO2 سانتیمترمکعب	کدورت ابتدائی NTU	کدورت انتهائی NTU
کربنات منیزیم	۲۰۰	۳	۳۲۰	۲۴۰۰	۱۵۰۰
	۲۰۰	۶	۶۴۰	۲۴۰۰	۱۳۰۰
	۲۰۰	۹	۹۶۰	۲۴۰۰	۱۲۰۰
	۲۰۰	۱۲	۱۲۸۰	۲۴۰۰	۱۱۸۰
	۲۰۰	۱۸	۱۹۲۰	۲۴۰۰	۱۱۸۰
کربنات منیزیم + آهک	۳۵۰	۳	۳۲۰	۲۳۵۰	۱۴۶۰
	۳۵۰	۷	۷۴۹	۲۳۵۰	۱۳۱۰
	۳۵۰	۱۰	۱۰۷۰	۲۳۵۰	۱۱۵۰
	۳۵۰	۱۳۰	۱۳۹۱	۲۳۵۰	۱۱۵۰
	۳۵۰	۱۶	۱۷۱۲	۲۳۵۰	۱۱۵۰

جدول شماره ۳ ــ مقایسه آب خام و آب تصفیه شده

خصوصیات	آب خام	آب تصفیه شده بروش کربنات منیزیم	آب تصفیه شده بروش کربنات منیزیم و آهک
هدایت الکتریکی (میکروموس)	۳۲۰	۵۲۲	۳۰۸
کدورت (NTU)	۲۰۰	۴۲	۲۱
PH	۷/۶	۹/۰	۸/۴
سختی تام (میلی‌گرم درلیترکربنات کلسیم)	۱۷۰	۴۰۰	۱۴۲
سختی دائم (" " ")	۱۰۰	۳۵۰	۱۰۶
قلیائیت فنل فتالئین (" " ")	صفر	۵	۴
" متیل اورانژ (" " ")	۱۳۸	۴۳۰	۱۲۰
باقیمانده خشک (۱۰۳ درجه میلی گرم درلیتر	۳۲۹/۱	۴۸۸/۳	۲۷۲
باقیمانده خشک (۵۵۰ " ")	۲۲۰/۶	۳۶۶/۵	۱۸۷
سدیم (میلی گرم در لیتر Na)	۲۸/۵	۲۸/۰	۲۸
پطاسیم (میلی گرم در لیتر K)	۱/۱	۱/۲	۱/۲
کلسیم (" " Ca)	۵۹	۱۶	۱۸
منیزیم (" " Mg)	۵/۲۸	۸۶/۴	۲۳
آهن (" " Fe)	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱
منگنز (" " Mn)	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۸
کلرور (" " Cl)	۹/۵	۷	۷
سولفات (" " SO_4)	۲۹۰	۱۰۰	۱۰۶
نیترات (" " NO_3)	۴/۵	۴/۵	۴/۵
فسفات (" " PO_4)	۰/۹۵	۲/۹۰	۳/۰
فلوئور (" " F)	۰/۳	۰/۳	۰/۳

REFERENCES

۱ ـ گودرزی نسرین (۱۳۵۶) " بخشی از محدودیت و مشکلات توسعه و بهره‌برداری آب مشروب تهران ،پایان نامه "برای دریافت درجه‌فوق لیسانس ـ دانشکده بهداشت ـ دانشگاه تهران .

۲ ـ نه جلد نشریه " ارزیابی وضع موجود و امکانات منابع آب (چاپ سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۲) "مدیریت منابع آب سازمان برنامه .

3. Thompson, C.G., Singlay, J.E., and Black, A.P., (Jan. 1972) "Magnesium Carbonate a Recycle Coagulant" J.A.W.W.A., vol. 64, No. 1 pp. 11-19.

4. Black, A.P., Brace, S.S., and Fleming, J., (1971) "From lime soda softening sludge recovery of calcium and magnesium Values", J.A.W.W.A., vol. 63, No. 10, pp. 616:622.

5. Kreissl, J.F., Westrick, F., and James, J., (1972) "Muncipal waste Treatment by Physical and Chemical Methods" Willy Interscience Co., New York, pp. 18-22.

6. APHA-AWWA-WPCF., (1975) "Standard Methods for the Examination of Water and waste water" 14th Edition, Washington, DC.,

7. Hardenbergh, W.A., and Rodie, R., (1963) "Water supply and waste disposal" screanton, International textbook Co., chapter 3, pp. 40-58.

۸. نشریه و کارنامه سازمان آب منطقه‌ای تهران در سال ۱۳۵۵ .