کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
دانشگاه تهران، تهران
۲۶ و ۲۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۵

1101P-NWWCE

حذف منیزیم و سولفات از آب آشامیدنی با استفاده از آهک و پلی آلومینیوم کلراید

احسان اکاتی*[۱]، زرداد نارویی[۲]، حبیب اعلائی[۲]، عبدالصمد نارویی[۳]، سعید رضا زیبی [٤]

۱- کارشناس ارشد شیمی کاربردی و مسئول آزمایشگاه تصفیه‌خانه آب سیستان

۲- شرکت مهندسی آب و فاضلاب زابل

۳ - شرکت مهندسی آب و فاضلاب سیستان و بلوچستان

٤ - شرکت مهندسی ساب نیرو

*Ehsanokati@yahoo.com

خلاصه

آب‌های سطحی از مهم‌ترین منابع تأمین آب، جهت مصارف شرب و کشاورزی می‌باشند. چاه نیمه‌های سیستان از مهم‌ترین منابع آبی این منطقه به شمار می‌آید. در این پژوهش فرایند حذف یون‌های منیزیم و سولفات به‌وسیله پلی آلومینیوم کلراید و آهک در pH=12 مورد بررسی قرار گرفت. بدین صورت که یک نمونه آب خام با میزان مشخصی از یون‌های منیزیم و کلسیم و سولفات تهیه گردید. تأثیر میزان پلی آلومینیوم کلراید و pH و زمان ماند مورد بررسی قرار گرفت. میزان منیزیم در آب خام ۳۹,۹ میلی‌گرم بر لیتر بوده و پس از تزریق آهک و پلی آلومینیوم کلراید در راکتور CSTR در pH=12 میزان یون منیزیم در آب به ۶,۷۲ میلی‌گرم بر لیتر رسید. همچنین با استفاده از این روش میزان سولفات آب خام کاهش میابد که یک روش جدید برای حذف سولفات است. پارامتر سختی کل در آب شهر زابل ۲۶۳ میلی‌گرم در لیتر است که نشان می‌دهد این آب در دسته‌ی آب‌های سخت قرار می‌گیرد و از نظر بهداشتی و پزشکی هیچ مشکلی ندارد. همچنین مقادیر کلسیم و منیزیم در آب آشامیدنی پایین‌تر از حد مطلوب می‌باشد.

کلمات کلیدی: منیزیم، سولفات، سختی، آب آشامیدنی، آهک، پلی آلومینیوم کلراید

۱. مقدمه

امروزه آب به‌عنوان یکی از عوامل بهبود و رشد اقتصادی جوامع به شمار می‌آید، لذا مدیریت بهینه منابع آب به‌ویژه آب شیرین، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین برنامه‌های کشورها محسوب می‌شود. کیفیت آب‌های سطحی در مناطق مختلف به دلیل تنوع سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی و عوامل هیدروژئولوژیکی تغییرات متفاوتی را در بر دارد. شناخت و بررسی کیفیت منابع آب در مدیریت و استفاده بهینه از آن از اهمیت بالایی برخوردار است [1] . هدف اصلی بررسی‌های کیفی آب آشامیدنی، حفظ بهداشت عمومی و سلامت مصرف‌کنندگان است. وجود برخی از املاح و مواد شیمیایی در آب برای انسان و سلامتی او ضروری است در حالی که ممکن است برخی از این پارامترهای شیمیایی در غلظت‌های ناچیز سمی بوده و یا غلظت‌های بالاتر از حد استاندارد آن برای بدن در درازمدت ایجاد بیماری‌ها و ناتوانی‌های مختلفی را نماید[2]. در اکثر مناطق مطالعات زیادی بر روی کیفیت آب انجام شده است به‌عنوان مثال ابراهیمی و همکاران در سال ۱۳۸۰ کیفیت میکروبی و شیمیایی آب شرب شهر راوند را بررسی نمودند. آن‌ها در پژوهش خود نشان دادند که پارامترهای، سختی و سولفات، منیزیم و کلسیم از حد مجاز بالاتر می‌باشند [3]. دهقانی تفتی (۱۳۸۲) به بررسی وضعیت کیفی منابع آب شرب شهر تفت یزد پرداختند. آن‌ها بیان نمودند که مخلوط کردن آب چند چاه با آب چاه‌های دارای مشکلات شیمیایی می‌تواند موجب تعدیل پارامترها و مطابقت با استانداردها شود [4].

مقادیر زیاد سولفات‌ها در آب می‌تواند برای کسانی که به مصرف این‌گونه آب‌ها عادت ندارند، ملین باشد. سولفات‌ها همچنین می‌تواند موجب ایجاد سختی و تولید کف در دیگ‌های بخار گردد. غلظت‌های ۳۸۸ تا ۴۸۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات در آب می‌تواند تولید مزه کند [5].سازمان

بهداشت اروپا و سازمان بهداشت جهانی (WHO) حد استاندارد یون‌های سولفات برای آب آشامیدنی را به ترتیب ۴۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر اعلام نموده‌اند [6].

انواع مختلف نمک‌های معدنی و یون‌هایی نظیر کلراید، سولفات و فسفات، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، آهن و غیره در آب در مقادیر بالا موجب ایجاد مزه در آب می‌شود[7].

با توجه به افزایش آگاهی‌های عمومی و توجه بیشتر به جنبه‌های کیفی و ظاهری آب، اهمیت موضوع کیفیت آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معیارها برای قضاوت در مورد عملکرد متولیان آن در نظر گرفته می‌شود[8]. با توجه به‌ضرورت پایش مستمر کیفیت آب و مقایسه آن با استانداردهای ملی و جهانی لازم است تا تحقیقی در زمینه تعیین پارامترهای شیمیائی آب آشامیدنی شهر زابل انجام گردد و از طرفی کارایی سیستم راکتور CSTR و پلت راکتور جهت حذف منیزیم و سولفات از آب آشامیدنی بررسی گردد.

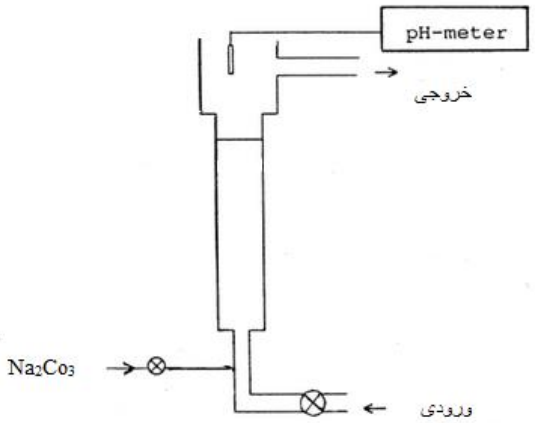
۲. مواد و روش ها

چاه نیمه ها گودال های طبیعی هستند که در جنوب شرقی سیستان در فاصله تقریبی ۴ کیلومتری ساحل چپ دلتای هیرمند قرار گرفته اند. عمق مخازن به طور متوسط به ۱۵ متر میرسد. حجم مخزن چاه نیمه ۳ ۳۲۰ میلیون متر مکعب در هنگام پر آبی است [8]. این مطالعه در نیمه اول سال ۱۳۹۵و از آب مخزن چاه نیمه ۳ که آب شرب شهرهای سیستان از آن تامین می شود، انجام گردید. نمونه برداری ها در محل صورت گرفت و ۱۸نمونه از ورودی سختی گیر (ورودی رآکتور CSTR)و خروجی فیلتر شنی راکتور CSTR و پلت راکتور برداشت و سریعاً آزمایش شد. در هر مرحله سه بار آزمایش تکرار گردید. مواد شیمیایی مورد استفاده شامل آهک ، کربنات سدیم ،پلی آلومینیوم کلراید و اسید کلریدریک ساخت کمپانی مرک آلمان بودند. آزمایشها در دو دسته کلی آزمایشهای دستگاهی و آزمایشهای تیتریمتری انجام شد. آزمایشهای تیتریمتری شامل سختی کل، کلسیم و منیزیم بوده که بر اساس روش‌های مندرج در مرجع استاندارد متد[9]. بر این اساس روش سنجش سختی کل، کلسیم و منیزیم روش تیتراسیون با EDTA ۰,۰۱ نرمال بوده است[10]. آزمایش‌های دستگاهی نیز شامل سنجش pH با استفاده از pH متر مدل wtw ،کدورت به‌وسیله کدورت سنج مدل wtw سولفات و آلومینیوم با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل DR 5000 سنجش شد.

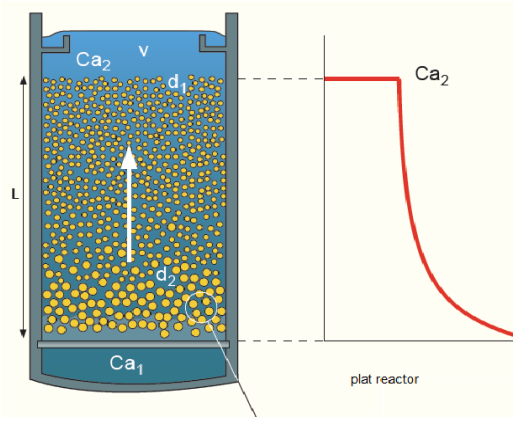
شکل ۱. نمای کلی دستگاه سختی گیر

یک راکتور CSTR (شکل ۱) به حجم ۱۰۰۰۰ لیتر تهیه شد و pH نمونه آب سخت سنجش و توسط الکترو پمپ با دبی ۲,۷ لیتر بر ثانیه وارد رآکتور گردید. سپس با افزودن ۱,۷ گرم بر لیتر آهک به‌وسیله دورینگ پمپ های تعبیه شده pH نمونه به ۱۲ رسید و در ادامه ۰,۵۸ گرم بر لیتر پلی آلومینیوم کلراید به راکتور افزوده و با سرعت ۱۵ rpm به زمان ماند ۶۰ دقیقه مخلوط گردید پس اتمام زمان واکنش نمونه آب از قسمت

بالای راکتور خارج و فیلتر گردید. سپس پارامترهای مورد نظر سنجش شد. سپس نمونه خروجی فیلتر راکتور CSTR ، وارد پلت راکتور (شکل ۲) گردید. ارتفاع پلت راکتور ۵ متر طراحی شده که درون آن تا ارتفاع ۶۰ سانتی متر به‌وسیله ماسه(به‌عنوان هسته اولیه) پر شده است.



شکل ۲. پلت راکتور



شکل ۳. تشکیل پلت های درشت و قابل جداسازی

با افزودن ۰,۲۵ گرم بر لیتر کربنات سدیم ، مقدار اضافی کلسیم ناشی از تزریق آهک در پلت راکتور با تشکیل رسوب کربنات کلسیم حذف و آب صاف از قسمت بالای راکتور خارج و فیلتر گردید(شکل ۳) (واکنش های۱و ۲).

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2NaCl \quad (1)$$

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4 \quad (2)$$

۳. نتایج و بحث

در تبدیل آب خام (سخت) به آب ترم شده تغییرات سختی کل، سولفات (SO_4^{2-})، Ca^{2+}، Mg^{2+} در pH های مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مقایسه پارامترهای سنجش شده در آب خام با آب ترم شده در pH های مختلف

پارامتر سنجش شده(ppm)	آب خام (سخت)	خروجی راکتور CSTR	آب ترم شده (خروجی پلت راکتور)		
			PH=۹,۵۰	PH=۱۰,۵۰	PH=۱۲,۰۰
TH	۲۶۳,۰۰	۸۵۰,۰۰	۱۹۰,۰۰	۱۸۰,۰۰	۱۲۸,۰۰
SO_4^{2-}	۱۷۱,۰۰	۷۵,۰۰	۱۷۱,۰۰	۱۷۱,۰۰	۷۵,۰۰
Ca^{2+}	۴۰,۰۸	۲۴,۰۰	۱۷,۶۰	۱۶,۰۳	۴۰,۰۰
Mg^{2+}	۳۹,۳۶	۳۰۰,۰۰	۳۵,۰۴	۳۳,۶۰	۶,۷۲

همان طور که در جدول ۱ مشخص است فرایند حذف سولفات در pH=11/5 شروع می شود در pH=12 بالاتر می شود. در راکتور CSTR طبق واکنش(۳) یون سولفات با ایجاد کمپلکس حذف می گردد.

$$6Ca^{2+} + 2Al^{3+} + 3SO_4^{2-} + 12OH^- \downarrow\uparrow 3Ca(OH)_2\ 2Al(OH)_3\ 3CaSO_4\ 32H_2O \quad (۳)$$

بر طبق نتایج [10] محصولات انحلال به صورت زیر تعریف می گردد:

برای PH<8 :
$$K_{SP}=[Ca^{2+}]^6\ [Al^{3+}]^2\ [SO_4^{2-}]^3[OH^-]^{12} = 10^{-111.3}\ (M/l)^{23}$$

از آنجایی که $Al(OH)_4^-$ اصلی ترین فرم آلومینیوم در PH>8 می‌باشد، برای PH>8:

$$K_{SP}=[Ca^{2+}]^6\ [Al(OH)_4^-]^2\ [SO_4^{2-}]^3[OH^-]^4 = 10^{-43.13}\ (M/l)^{15}$$

شرایط ایجاد کریستال زمانی است که:

$$[Ca^{2+}]^6\ [Al(OH)_4^-]^2\ [SO_4^{2-}]^3[OH^-]^4 > K_{sp}$$

میزان سولفات آب چاه نیمه‌های سیستان ۱۷۱,۰۰ میلیگرم بر لیتر می‌باشد که پایین‌تر از حد مطلوب (۲۵۰ میلی‌گرم برلیتر) طبق استاندارد ۱۰۵۳ است. با استفاده از این سیستم، میزان سولفات به عدد ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافت . نظر به این که بین یون منیزیم و سولفات از نظر تغییر طعم و امکان اختلال در سیستم هاضمه ارتباطی وجود دارد و آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد میزان سولفات آب چاه نیمه‌های سیستان رو به افزایش است این روش برای حذف سولفات در سال های آینده کار آمد و مفید خواهد بود.

جدول ۲. مقایسه پارامترهای سنجش شده با استانداردهای ملی را نشان می‌دهد. پارامتر سختی کل در آب شهر زابل ۲۶۳ میلی‌گرم در لیتر است که نشان می‌دهد این آب در دسته‌ی آب‌های سخت قرار می‌گیرد و از نظر بهداشتی و پزشکی هیچ مشکلی ندارد [13، 12] همچنین مقادیر کلسیم در آب آشامیدنی(ورودی سختی گیر) پایین‌تر و منیزیم بالاتر از حد مطلوب می‌باشد.

جدول ۲. مقایسه پارامترهای سنجش شده با استاندارد ۱۰۵۳ [12]

پارامتر سنجش شده (ppm)	آب خام (سخت)	آب ترم شده (خروجی پلت راکتور) pH=۱۲	حداکثر مطلوب	حداکثر مجاز استاندارد
TH	۲۶۳,۰۰	۱۲۸,۰۰	۲۰۰	۵۰۰
SO_4^{2-}	۱۷۱,۰۰	۷۵,۰۰	۲۵۰	۴۰۰
Ca^{2+}	۴۰,۰۸	۴۰,۰۰	۳۰۰	–
Mg^{2+}	۳۹,۳۶	۶,۷۲	۳۰	–

به مجموع یون‌های منیزیم و کلسیم در آب که بر حسب میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم سختی کل می گویند. سختی کل آب چاه نیمه‌های سیستان ۲۶۴ میلی‌گرم بر لیتر بدست آمد. با توجه به تقسیم بندی آب‌ها از لحاظ سختی، نمونه آب چاه نیمه‌های سیستان جزو آب‌های سخت محسوب می شود . همچنین طبق مؤسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران (۱۰۵۳) حد مطلوب سختی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که .با استفاده از این فرایند میزان سختی کل به ۱۲۸ میلی‌گرم بر لیتر کاهش پیدا کرد که پایین‌تر از حد مطلوب تعیین شده است.

منیزیم یکی از عناصر معمولی آب است که از نمکهای قابل حل تشکیل می‌دهد. منیزیم در آب هم سختی کربناتی و هم سختی بی کربناتی ایجاد می کند (البته کمتر از کلسیم). زیاد بودن این عنصر فلزی در آب می تواند مسهل باشد. میزان منیزیم آب چاه نیمه‌های سیستان ۳۹,۳۶ میلی‌گرم بدست آمد که بالاتر از حد مطلوب (۳۰,۰۰) طبق مؤسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران (۱۰۵۳) است که .با استفاده از این فرایند به عدد ۶,۷۲ میلی‌گرم برلیتر کاهش پیدا کرده است (پایین‌ترحد مطلوب).

میزان یون کلسیم آب چاه نیمه‌های سیستان ۴۰,۰۸ میلیگرم برلیتر می‌باشد که پایین‌تر از حد مطلوب (۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) است. با استفاده از این روش میزان یون کلسیم آب آشامیدنی تغییر چندانی نداشته (۴۰,۰۰میلیگرم برلیتر) . اگر در سال های آینده میزان یون کلسیم افزایش یابد با تزریق بی کربنات سدیم در پلت راکتور قابل کاهش می‌باشد.

به دلیل محدودیت منابع آب و با توجه به افزایش احتمال آلودگی آبها به انواع آلاینده ها در اثر فعالیتهای انسانی، پایش وضعیت کیفی آب به صورت سیستماتیک و در دوره های طولانی مدت مورد نظر بوده و بررسی گردد تا در صورت بروز تغییرات اقدامات مداخله ای صورت گیرد.

۴. نتیجه گیری

پارامتر سختی کل در آب شهر زابل ۲۶۳ میلی‌گرم در لیتر است که نشان می‌دهد این آب در دسته‌ی آب‌های سخت قرار می‌گیرد و از نظر بهداشتی و پزشکی هیچ مشکلی ندارد. همچنین مقادیر کلسیم و منیزیم در آب آشامیدنی به ترتیب پایین‌تر و بالاتر از حد مطلوب می‌باشد. سیستم به کار گرفته شده قابلیت حذف یون‌های کلسیم و منیزیم (سختی کل) و سولفات دارا می‌باشد که یک روش جدید برای حذف سولفات بر اساس ترسیب

یا تشکیل بلور می‌باشد و در این روش کلسیم اضافی راکتور CSTR باعث تشکیل پلت های درشت با قابلیت هسته گذاری بالا و افزایش راندمان حذف در پلت راکتور در نهایت کاهش تزریق مواد شیمیایی می شود. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که حذف سولفات بسیار موثر از یون‌های کلسیم و منیزیم و آلومینیوم می‌باشد.

۵. مراجع

1. Ouyang, Y., Nkedi-Kizza, P., Wu, Q.T., Shinde, C.H., Huang. D., (2006). Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Research, 40(20),* 3800-3810.

2. Mesdaghinia, A., Nabizadeh, R. (2008). Waterborne disease. School of Tehran University of Medical Sciences. PP:35-51.

3. Abrahimi, A. (2003). Survey of Microbial and chemical quality of drinking waterravand city in 2002 yers. Second National Seminar on Environmental Health,AHVAZ,2003.

4. Dehghanitafti, M. (2003*). Evaluate the quality of drinking water sources in taft city*. Second *National Seminar on Environmental Health,AHVAZ, 2003*

5. Zazouli, M.A., Bazrafshan, E. (2010). Chemistry of water and wastewater. Water and Wastewater Technology (Chemistry, Microbiology and Treatment*). 2th ed. Tehran: Samat Press,* 18-46. (Persian)

6. Masschelein, W.(1992*). Unit processes in drinking water treatment*, Marcel Dekker, Inc.

7. Pindi, P.K., Yadav P.R., Kodaparthi, A.(2013). *Bacteriological and physico-chemical quality of main drinking water sources*. Pol. J. Environ. Stud , 22: 825-30.

8. UNEP, 2006. History of environmental change in the Sistan Basin, based on satellite image *analysis*. pp. 1976-2005

9. APHA, (2005). AWWA,WEF.*Standard metod for examination of water and waste waters.*21st edition.U.S.A.American Public Health Association .

10. Zuane J. Handbook of Drinking Water Quality Standard and Controls. Van Nostrand Reinhold. NewYork. 2006. PP: 17-150.

11. Xie Ping, J.J.Beaudoin.(1992). Mechanism of sulphate expansion, Cement and concrete research,.22: 631—640

12. ISIIR. (2009). Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Drinking water, chemical and physical propertiesNational Iranian Standard No. 1053 revising the fifth 2009.

13. USEPA. (2006).*United Sates Environmental Protection Agency Drinking Water Standards and Health Advisors.*EPA.PP: 822 -850.