تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال سیزدهم، شماره ۳، پائیز ۱۳۹۶
Volume 13, No. 3, Fall 2017 (IR-WRR)
۱۹۸-۲۰۴

یادداشت فنی

بررسی تأثیر میدان مغناطیسی بر رسوب‌گذاری آب شهری بیرجند

نیما حیدرزاده[۱*] و حمیده محمدپور[۲]

چکیده

فناوری مغناطیسی نمودن آب و اثر آن بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آب یکی از موضوعات بحث برانگیز در دو دهه اخیر بوده است. تحقیق حاضر به بررسی اثر مغناطیس بر رسوب‌گذاری آب شهری بیرجند با استفاده از اندیس رایزنر و انجام دو آزمایش متفاوت می‌پردازد. در آزمایش اول، به منظور بررسی تغییرات ساعتی جامد باقی‌مانده در بوته‌های چینی، پایلوتی طراحی گردید که آب از یک مخزن با عبور از میان آهنربا به درون مخزن دوم ریخته شود. سپس آزمایش TDS در ۴ حالت بدون عبور، یک، سه و پنج بار عبور از مغناطیس، بر روی آب انجام گرفت. در آزمایش دوم، رسوب ایجاد شده در دستگاه بخور توسط آب شهری در حالت با و بدون آهنربا انجام گرفت. نتایج نشان داد مغناطیس بر روی شیمی آب (در ارتباط با رسوب) تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد و باعث تغییر اندکی در شاخص رایزنر گردید. در بوته‌های چینی پس از بخار شدن آب، مقدار رسوب کاهش معناداری نیافت و TDS در عبورهای مختلف از مغناطیس در حدود ۸۵۰ mg/L بود و مطابق تحلیل آماری به روش توکی، تمامی میانگین‌ها در یک رده قرار گرفتند. اما بر روی الکترودهای دستگاه بخور رسوب کمتر (کاهش ۴۳ درصدی) و نرم‌تری تشکیل شد.

کلمات کلیدی: مغناطیسی کردن آب، خصوصیات شیمیایی آب، شاخص رایزنر، رسوب.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۶/۲۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۱/۱۹

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران
۲-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه خوارزمی، تهران
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان اسفند ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

Technical Note

The Effect of Magnetic Field on Scale Deposition of Birjand Tap Water

N. Heidarzadeh[1] and H. Mohamadpour[2]*

Abstract

Water magnetization technology and its effect on the chemical and physical properties of water has been one of the controversial topics in the past two decades. In this research, the effects of magnetic field on scaling of Birjand tap water studied using Ryznar index and two different pilot scale tests. In the first experiment, to evaluate the hourly changes of remained solids in the porcelain dishes, a pilot is designed so that water of the first tank passed through a magnetic field and then collected in the second tank. Water TDS was then analyzed at 4 modes; without passing, and one, three, and five times passing through magnet with two replications. In the second experiment, scale deposition of tap water on a humidifier device was investigated. Results showed that the magnetic field had no significant impact on the water chemistry (related to scale deposition) and it made a little change in the Ryznar index. Also, TDS of different samples passed through the magnets was about 850 mg/L and all averages were in the same category of Tukey statistical analysis method. However, sediments formed on the electrodes of the humidifier were less (43% reduction) and softer.

***Keywords*:** Water Magnetization, Water Chemical Properties, Ryznar Index, Scale Deposition.

Received: September 16, 2016
Accepted: February 7, 2017

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, School of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran. Email: n.heidarzadeh@khu.ac.ir
2- MSc., Civil Engineering, Environmental Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

یکی از راه‌های بهینه‌سازی آب‌های مصرفی، بهره‌گیری از تکنولوژی مغناطیسی‌نمودن در پالایش آب عنوان شده است. در پالایش آب از طریق اعمال میدان مغناطیسی که جزء روش‌های تصفیه فیزیکی به شمار می‌رود، ماده‌ای به آب کم یا زیاد نمی‌شود. بلکه فقط آرایش بارهای الکتریکی مولکول‌های آب تغییر می‌کند. رسوب کربنات کلسیم معمول‌ترین ماده‌ای است که درآب‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک بوجود می‌آید. سه شکل مختلف کریستالی کربنات کلسیم عبارتند از ۱) کلسیت با سیستم تبلور شش وجهی که بسیار فعال و چسبنده است و این ساختار عامل اصلی ایجاد رسوبات سخت در مجاری عبور آب می‌باشد؛ ۲) آراگونیت با سیستم تبلور ارتورومبیک یا سوزنی شکل که قدرت چسبندگی کمی دارد. رسوبات ایجاد شده توسط آراگونیت نرم بوده و به راحتی زدوده می‌شود؛ ۳) واتریت بسیار ناپایدارتر از دو فرم دیگر بوده و معمولا کربنات کلسیم به فرم واتریت به ندرت یافت می‌شود. آن‌چنان‌که ادعا شده است، آب مغناطیسی مورفولوژی رسوب کربنات کلسیم را تغییر می‌دهد. از مهمترین فواید آب مغناطیسی تشکیل رسوب نرم ذکر شده است. آب در صورت عبور از تصفیه‌کننده‌های مغناطیسی در شرایط فوق اشباع، تمایل به تشکیل رسوب نرم و جدا شونده از سطوح دارد. به عبارت دیگر آراگونیت موجود در رسوب افزایش می‌یابد (Ashrafi et al., 2014).

فناوری مغناطیسی نمودن آب یکی از موضوعات بحث برانگیز در جامعه علمی است. گزارش‌های ارائه شده از مغناطیسی نمودن آب، متنوع و بعضاً متناقض هستند. برخی اثرات مثبت آب مغناطیسی ارائه شده توسط محقیقن عبارتند از اثرات ضدرسوبی و کاهش EC آب (Gholizadeh et al., 2005)، کاهش شوری خاک در هنگام آبیاری با آب مغناطیسی (Mirzaee et al., 2014)، افزایش عملکرد بتن تهیه شده از آب مغناطیسی (Khorshidi et al., 2004)، افزایش pH آب و کاهش TDS (AbdelTawab et al., 2013)، کاهش سختی آب (Abdo Salehi et al., 2009)، تغییر شکل رسوب کربنات کلسیم از کلسیت سخت به آراگونیت نرم (Quinn et al., 1997)، افزایش آبشویی نمک‌های اضافی خاک (Hilal et al., 2013)، بهبود رشد طیور (Gholizadeh et al., 2008) و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و بهبود رشد چهارپایان (Banejad et al., 2013).

در مقابل برخی محقیقن بیان می‌کنند که وسایل مغناطیسی موجود در بازار هیچ فرایند فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی به منظور تصفیه آب و تغییر خصوصیات آب ندارند. به عنوان مثال، نشریه فنی کارهای عمومی مهندسان ارتش ایالات متحده، در سال ۲۰۰۰ اعلام نمود ساختار بلوری کلیست در دستگاه‌های تست شده یکسان است و دستگاه‌های مغناطیسی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر روی خوردگی لوله‌ها و رسوب نداشته‌اند (Smothers et al., 2001). محققین دیگر بیان نمودند دستگاه‌های تصفیه مغناطیسی تأثیری بر روی TDS و سختی ندارند (Kotb et al., 2013). پژوهشگران دیگر با انجام آزمایش در میدانهای مغناطیسی متفاوت بیان نمودند، مغناطیس بر روی کاهش EC تأثیری ندارد (Jiang et al. 2015). برخی دیگر از محققین عدم تأثیر آب مغناطیسی بر رشد انواع گیاهان را گزارش نموده‌اند؛ از جمله: خیار گلخانه‌ای (Dehghani et al., 2009)، و لوبیاسبز و گندم (Ahmadi et al., 2014).

با توجه به اظهارات ضد و نقیض موجود در زمینه آب مغناطیسی، تحقیق حاضر در پی پاسخگویی به این سؤال است که آیا مغناطیس باعث کاهش قدرت رسوب‌گذاری آب می‌گردد؟ در صورت تأیید اثربخشی مغناطیس بر رسوب، آیا مغناطیس در کوتاه‌مدت نیز اثرات مطلوبی بر رسوب دارد و باعث کاهش رسوب می‌گردد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- برپایی پایلوت

برای برپایی پایلوت (شکل ۱) و بررسی تغییرات ساعتی جامد باقی‌مانده در ظروف و TDS سعی گردید متغیرهای مورد نظر به گونه‌ای انتخاب شود که در تحقیقات گذشته پاسخ‌هایی برای آن‌ها گزارش گردیده است (Gabrielli et al., 2001; Gholizadeh et al., 2005; Mosin et al., 2014). در این پایلوت آب پمپ شده از مخزن ۱ با عبور از میان دو جفت آهنربای نصب شده بر روی لوله پلی‌اتیلنی مغناطیسی گشته و به درون مخزن ۲ ریخته می‌شود.

در آزمایش اول به منظور بررسی تغییرات ساعتی جامد باقی‌مانده در بوته‌های چینی و TDS، برای جریان یافتن آب، مانند برخی پژوهش‌های موجود از جمله Gabrielli et al. (2001) و Gholizadeh et al. (2005) از یک عدد پمپ استفاده گردید، تا آب با سرعتی بالا، مناسب و مشخص مغناطیسی شود. زیرا با توجه به قانون لورنتس، هرچه سرعت جریان بیشتر باشد، تأثیر مغناطیس بر آب بیشتر است.

از طرف دیگر، برخی محققین معتقدند برای تأثیر مغناطیس بر روی آب، نباید جریان آب، آشفته باشد بدین منظور بایستی دستگاه تصفیه مغناطیسی یا قبل از پمپ و یا حداقل ۱۵متر بعد از پمپ نصب شود (Mosin et al., 2014).

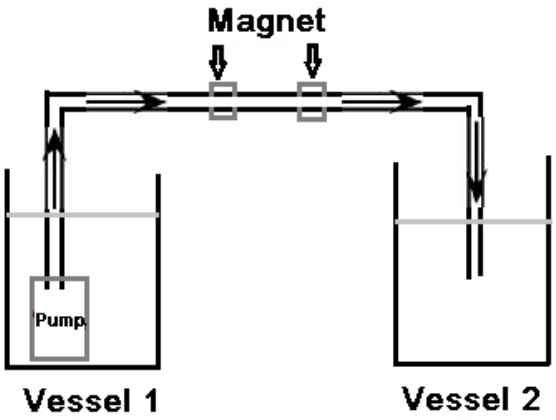

Fig.1– Pilot of the first experiment: Hourly changes in TDS and solid residuals in vessels

شکل ۱- پایلوت آزمایش اول: بررسی تغییرات ساعتی جامد باقی‌مانده در ظروف و TDS

با توجه به این گزارش در آزمایش بعدی، یعنی برای بررسی تأثیر میدان مغناطیسی بر روی رسوب ایجاد شده در دستگاه بخور توسط آب، از پمپ استفاده نگردید و دو جفت آهنربا، برروی شیر آشپزخانه نصب شد. آهنرباها به گونه‌ای نصب شد که میدان مغناطیسی بر جریان آب عمود باشد و یک آهنربا در ابتدای شیر و دیگری در انتهای شیر و قطب‌های هم‌نام هر دو در یک طرف شیر قرار گیرند. بدین منظور، جریان آب نیز به گونه‌ای تنظیم گردید که در آب خروجی، بر اساس عدد رینولدز، آشفتگی ایجاد نشود. برخی محققین عدد رینولدز بحرانی برای جریان داخل یک لوله را ۲۳۰۰ می‌دانند (White, 2002) بدین منظور در این پژوهش سرعت آب به گونه‌ای تنظیم می‌شود که عدد رینولدز در حدود ۲۳۰۰ بوده و جریان در لوله آشفته نباشد (سرعت حدود ۰,۱۱ m/s) .

۲-۲- تجهیزات آزمایش

خصوصیات تجهیزات مورد استفاده در آزمایش‌ها عبارتند از:

آهنربا: دو جفت آهنربای دائمی نئودیمیوم، به شکل مکعب مستطیل به ابعاد mm^2 ۱۰×۲۰×۲۰، با مواد تشکیل‌دهنده NeFeB و پوشش نیکل (Ni-Cu-Ni)، با خاصیت مغناطیسی (گرید) N42 و با چگالی شار مغناطیسی پسماند ۱,۳۱– ۱,۲۹ تسلا (T) یا ۱۳۱۰۰ –۱۲۹۰۰ گوس (G)،

لوله: لوله‌ای پلی‌اتیلنی با قطر داخلی ۱۲,۷ میلی‌متر و قطر خارجی ۱۶ میلی‌متر و طول ۱ متر، که معمولا در آبیاری قطره‌ای استفاده می‌شود،

پمپ: پمپ آکواریوم، مدل AB-2003 با دبی اسمی ۱۸۰۰ L/h و حداکثر هد هیدرولیکی ۱,۵ m،

شیر آشپزخانه: از جنس برنج، با روکش کروم و قطر ۲cm،

دستگاه بخور: با حجم ۴۵۰۰ ml مدل LX2010 شرکت سامان ساخت کشور ایران،

EC متر: دستگاه هدایت‌سنج (EC متر) مدل ۸۳۰۳ برند AZ تایوان،

مولتی متر: به منظور اندازه‌گیری pH در این پژوهش از مولتی‌متر آزمایشگاهی مدل Istek با قابلیت اندازه‌گیری DO، pH، EC استفاده گردید.

۲-۳- مشخصات کیفی آب شهری بیرجند

به منظور تعیین مشخصات کیفی آب شهری بیرجند، مقدار EC، pH، TDS، سختی و قلیائیت کل در سه تکرار به روش استاندارد متد (Clesceri et al., 1999) بر روی آب انجام گردید که میانگین آنها به ترتیب برابر (µS/cm) ۹۵۵، ۹/۱۵، (mg/L) ۸۴۳، (mg/L as $CaCO_3$) ۳۷۸، و (mg/L as $CaCO_3$) ۲۷۵ می‌باشد.

۲-۴- روش انجام آزمایش

در این پژوهش به منظور بررسی اثر مغناطیس بر رسوب، ابتدا پتانسیل رسوبگذاری آب شهری بیرجند قبل و بعد از مغناطیسی نمودن توسط شاخص رایزنر (یکی از شاخص‌های خوردگی و رسوب) بررسی گردیده است. سپس به منظور پی بردن به تأثیر میدان مغناطیسی بر رسوب، به روش عملی، دو آزمایش زیر طراحی و انجام گرفت (۱- تبخیر آب درون ظروف چینی در آون و ۲- تبخیر آب توسط دستگاه بخور).

یکی از روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری و تشخیص خورندگی و بررسی تمایل آب به رسوب‌گذاری، کاربرد اندیس‌های خورندگی است. این اندیس‌ها بیانگر خصوصیات کیفی آب هستند، این اندیس‌ها شامل اندیس لانژلیه، رایزنر، خورندگی و پوکوریوس می‌باشد، رایج‌ترین روش محاسبه پایداری آب، شاخص اشباع لانژلیر و رایزنر می‌باشد. در این شاخص‌ها pH واقعی آب و pH آب وقتی اشباع از کلسیم است با یکدیگر مقایسه می‌گردد (White, 2002).

به منظور تعیین پتانسیل رسوب‌گذاری و خورندگی در ابتدا لازم است pH_s با فرمول (۱) ذیل محاسبه شود (Mazlumi et al., 2013):

$$pH_s = \{(9.3+A+B)-(C+D)\} \quad (۱)$$

که در آن

$A = (\text{Log } [TDS] - 1) / 10$

$B = -13.12 \times \text{Log } (C^0 + 273) + 34.55$

$C = \text{Log } [Ca^{2+} \text{ as } CaCO3] - 0.4$

$D = \text{Log } [\text{alkalinity as } CaCO_3]$

A: کل جامدات محلول در آب (mg/L)

B: درجه حرارت آب (^0C)

C: سختی کلسیم ($mg/L\ CaCO_3$)

D: قلیاییت ($mg/L\ CaCO_3$)

از روی pH_s به دست آمده و pH واقعی آب طبق رابطه ۲ اندیس اشباع رایزنر (RI) محاسبه شده و تفسیر آن از طریق جدول ۱ انجام می‌گیرد.

$$RI=2pH_s-pH \quad (۲)$$

Table 1- Ryznar Stability Index (Mazlumi et al., 2013)

جدول ۱- تفسیر اندیس رایزنر (Mazlumi et al., 2013)

RI	Indication
RI<5.5	Heavy scale will form
5.5 < RI < 6.2	Scale will form
6.2 < RI < 6.8	No difficulties
6.8 < RI < 8.5	Water is aggressive
RI > 8.5	Water is very aggressive

در این قسمت، بعد از انجام آزمایش‌های مربوط به خصوصیات شیمیایی (EC، pH، TDS، سختی و قلیائیت)، مطابق با استاندارد متد،پتانسیل رسوب‌گذاری آب در عبورهای مختلف از مغناطیس، مقایسه گردید. ذکر این نکته ضروری است که این روش‌ها معمولاً بر مبنای تعادلات شیمیایی استوار شده‌اند و فقط می‌توانند مشخص کنند که آیا رسوب تشکیل می‌شود یا باعث خوردگی می‌گردد ولی دینامیک مسئله را بررسی نمی‌کنند. در ادامه به منظور پی بردن به تأثیر میدان مغناطیسی بر روی رسوب، به روش عملی، دو آزمایش زیر طراحی و انجام گردید.

آزمایش اول، به منظور بررسی تغییرات ساعتی جامد باقی‌مانده در ظروف چینی و TDS، براساس دستورالعمل شماره 2540 استاندارد متد، آزمایش در دمای ۱۰۵–۱۰۳ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. قابل ذکر است که در هنگام آزمایش، دما به گونه‌ای بوده است که موجب بهم خوردگی سطح آب نشده و تبخیر به صورت سطحی انجام گیرد (Clesceri et al., 1999). (در این آزمایش mL ۲۰ از نمونه (آب شهری بیرجند) در عبورهای مختلف از مغناطیس، در ظروف بوته چینی (با حجم mL ۲۵) ریخته می‌شود و در آون با دمای $^{\circ}C$ ۱۰۳ قرار می‌گیرد و هر ۱ ساعت، نمونه‌ها از آون خارج شده و پس از سرد شدن توزین می‌شوند (Clesceri et al., 1999). این آزمایش در ۲ تکرار و ۴ حالت بدون عبور، یکبار عبور، ۳ بار عبور و ۵ بار عبور از مغناطیس، بر روی آب شهری بیرجند انجام گرفت.

آزمایش دوم به منظور بررسی رسوب ایجاد شده بر روی دستگاه بخور، یکبار با آب شهری غیرمغناطیسی و یکبار با آب شهری مغناطیسی، به صورت زیر انجام گرفت:

۱) توزین اجزای دستگاه قبل از آزمایش، ۲) پرکردن دستگاه از آب به مقدار mL۴۵۰۰، ۳) اضافه نمودن mL ۲۲۰۰ آب، هر ۲ ساعت یکبار، ۴) خاموش نمودن دستگاه بعد از ۲۴ ساعت، ۵) به آرامی خالی نمودن آب باقی‌مانده در دستگاه، ۶) توزین اجزا بعد از خشک شدن کامل. افزایش وزن رخ داده در اجزا بعد از ۲۴ ساعت کار دستگاه، ناشی از رسوب است. قابل ذکر است بعد از انجام آزمایش با آب غیرمغناطیسی، مقداری از رسوبات را جدا نموده و مقداری دیگر بر روی الکترودها و محفظه پوشش آن باقی می‌ماند، تا بررسی شود، آیا آب مغناطیسی توانایی از بین بردن رسوبات قبلی را دارد و همچنین مانع ایجاد و یا کاهش رسوب می‌شود یا خیر؟

۲-۵- روش تحلیل آماری

در این پژوهش به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، به دلیل مقایسه چند گروه داده کمی و تعیین معنادار بودن آماری تفاوت بین میانگین‌ها (بدون عبور، یکبار عبور، ۳ بار عبور و ۵ بار عبور از مغناطیس)، روش تحلیل واریانس توکی با سطح اطمینان ۹۵٪ در محیط نرم‌افزار Minitab انتخاب گردید. در این تحلیل، به بزرگ‌ترین میانگین، حرف A و به گروه‌های بعدی با توجه به اینکه تفاوت معناداری با گروه قبلی دارد یا خیر، یک یا چند حرف انگلیسی اختصاص می‌گیرد. در پایان، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری تفاوت معناداری با هم ندارند.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- بررسی پتانسیل رسوب‌گذاری آب مغناطیسی با استفاده از اندیس رایزنر

در جدول ۲ خصوصیات شیمیایی آب شهری بیرجند در عبورهای مختلف از مغناطیس و اندیس رایزنر ارائه گردیده است.

باتوجه به مقادیر محاسبه شده و طبق جدول ۲ مشخص می‌شود آب شهری بیرجند دارای خاصیت رسوبگذاری شدید است و با توجه به اینکه بر اثر مغناطیسی شدن، TDS تغییر معناداری نمی‌کند و دما ثابت است و pH افزایش و سختی و قلیائیت کاهش می‌یابند، عبورهای مختلف از مغناطیس پتانسیل رسوبگذاری و خوردگی را تغییر نمی‌دهد.

۳-۲- تأثیر مغناطیس بر TDS و جامد باقی‌مانده در ظروف چینی (هر یک ساعت)

با توجه به نتایج اخذ شده ملاحظه گردید که در مقدار TDS و همچنین جامد باقی‌مانده در ظروف (به ازای هر ۱ ساعت) تغییر معناداری رخ نداده است و در گروه‌بندی به روش تحلیل توکی، تمامی داده‌ها در رده A قرار می‌گیرند. از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت مغناطیسی نمودن آب باعث کاهش TDS نمی‌گردد. Kotb et al. (2013) نیز با آزمایش بر روی ۵ دستگاه تصفیه مغناطیسی بیان نمودند این دستگاه‌ها تأثیری بر روی TDS و سختی ندارند. همانگونه که مشاهده می‌شود در این آزمایش، تمام آب درون ظروف تبخیر می‌گردد و درنتیجه تنها تأثیری که می‌تواند مغناطیس بر روی رسوب در این آزمایش داشته باشد، تغییر در کیفیت رسوب خواهد بود که طبق مشاهده در ظروف آب مغناطیسی، رسوب نرم‌تری تشکیل شد.

در این آزمایش امکان بررسی فرضیه تبدیل کلسیت به آراگونیت، بر اثر مغناطیسی شدن و در نتیجه تمایل بیشتر آراگونیت به جابجایی با آب وجود ندارد؛ بـــه منظور بررسی این فرضیه باید مقداری از آب در ظرف باقی بماند و تـــوسط فیلتر و یا صافی از سیستم خارج شـود تا رسوبـــات معلق از رسوبـــات سخت و چسبنده متمایـــز گردنـــد، چـــون مشکل عمده صنعت با رسوبات سخت و چسبنده است (Gholizadeh et al., 2008, 2005).

۳-۳- تأثیر مغناطیس بر رسوب ایجاد شده در دستگاه بخور

به منظور برآورد رسوب ناشی از آب معمولی (غیر مغناطیسی) و آب مغناطیسی، اجزای دستگاه بخور شامل الکترودها، محفظه پوشش الکترودها و مخزن دستگاه توزین می‌شود. وزن اجزا قبل و بعد از کار دستگاه بخور با آب غیر مغناطیسی و مغناطیسی و درصدکاهش رسوب ناشی از تصفیه مغناطیسی در جدول ۳ ذکر گردیده است.

در دستگاه بخور، رسوبات چسبیده به الکترودها از اهمیت بیشتری برخوردار است. زیرا رسوبات باقی‌مانده در مخزن از نوع رسوبات معلق است و همراه آب حرکت می‌کند و شستشوی آنها راحت‌تر است. در صنایع مختلف اگر رسوب همراه با آب جابه‌جا شود، کمتر ایجاد مشکل می‌نماید (Quinn et al., 1997).

با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود کاهش وزن ناشی از رسوب در الکترودها (مهم‌ترین بخش در دستگاه بخور) در مدت ۲۴ ساعت ۴۲٫۷٪ است. این کاهش رسوب با فرضیه تبدیل کلسیت به آراگونیت و اینکه آراگونیت تمایل بیشتری دارد که با آب حرکت کند و درنتیجه رسوب سخت تشکیل نمی‌دهد (Gholizadeh et al., 2005 و Quinn et al., 1997 و McMahon, 2009)، مطابقت دارد و کاهش رسوب الکترودها به دلیل خروج رسوبات معلق به همراه آب تخلیه شده از دستگاه بخور در مرحله آخر است. این مشاهده با پژوهش Gholizadeh et al. (2005, 2008) و Gabrielli et al. (2001) که بر تأثیر مثبت میدان مغناطیسی در کاهش رسوب اشاره می‌کنند، مطابقت دارد.

۴- نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق و برخی پژوهش‌های مشابه در این زمینه و با توجه به عدم تغییر شاخص خوردگی و رسوب رایزنر، می‌توان نتیجه گرفت مغناطیس بر روی شیمی آب تأثیر مستقیم قابل توجهی ندارد. بلکه با تغییر مورفولوژی رسوب (از کلیست به آراگونیت)، باعث بهبود عملکرد آن می‌گردد.

Table 2- Chemical properties of tap water of Birjand city during different magnetic treatments and the Ryznar index

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب شهری بیرجند در عبورهای مختلف از مغناطیس و اندیس رایزنر

Number of Passes	Total Alkalinity as CaCO3 (mg/L)	Total Hardness (mg/L) as CaCO4	TDS (mg/L)	EC (µS/cm)	pH	RI
Passing Without	275.3	252	852.5	955	9.15	5.31
One Time	262.7	240	852.5	956	9.11	5.43
Three Times	252.8	242	895	956	9.2	5.38
Times Five	255.3	241	830	950	9.22	5.34

Table 3- The weights of device components before and after magnetic treatment and the percentage of weight decrease

جدول ۳- وزن اجزا قبل و بعد از کار دستگاه بخور و درصدکاهش رسوب ناشی از تصفیه مغناطیسی

Device components	Magnetic Water		Non-Magnetic Water		Decrease in scaling due to magnetic treatment (%)
	Weights before magnetic treatment (g)	Weights after 24 hrs magnetic treatment (g)	Weights before magnetic treatment (g)	Weights after 24 hrs magnetic treatment (g)	
Electrodes, Electrodes' cover, Screws	250.5	246.5	247.5	241.5	33.3%
Electrodes (only)	96.4	94.8	96.4	93.6	42.7%
Apparatus vessel	458.5	457.5	458.5	457	33.3%
Electrodes' cover	150	148	148.5	145.5	33.3%
Whole Device (without wire)	709	704	706	698.5	33.3%

آب مغناطیسی تمایل دارد رسوب غیر چسبنده با بلورهایی ریزتر و نرم‌تر تشکیل دهد. این بلوهای کوچک و رسوب‌های نرم ته‌نشین شده پایدار بوده و توانایی این را دارد که با آب در سراسر لوله جابه‌جا شوند. همانگونه که مشاهده شد، در آزمایش جامد باقی‌مانده در بوته‌های چینی (TDS) به دلیل اینکه تمام آب بخار شده و رسوب‌های نرم و معلق از سیستم خارج نشده است، کاهش معناداری در رسوب حاصل نگردید؛ اما در آزمایش دستگاه بخور که در انتها مقداری از رسوب‌های نرم از دستگاه خارج شده باعث کاهش حدود ۴۳ درصدی رسوب سخت بر روی الکترودها شده است. باتوجه به مکانیسم تأثیر مغناطیس بر آب می‌توان با تعبیه مکانی مناسب همراه با یک خروجی رسوب درسیستم، رسوب‌های نرم شکل گرفته را جمع‌آوری و از سیستم خارج نمود و باعث بهبود عملکرد این دستگاه‌های مغناطیسی و درنتیجه کاهش رسوب شد. همانگونه که اشاره گردید عوامل مختلفی بر نحوه مغناطیسی نمودن آب مؤثر است که بعضی از این عوامل توسط برخی محقیقن بررسی گردیده است لیکن تاکنون بهینه‌ترین حالت تعیین نشده است. چند نمونه از عواملی که بررسی و بهینه‌سازی آنها در پژوهش‌های آینده مناسب به نظر می‌رسند عبارتند از: دما، سرعت، دبی، جنس لوله، رژیم جریان (آشفته، لایه‌ای، بحرانی)، وجود یا عدم وجود پمپ، مکان قرارگیری آهنرباها (فاصله نسبت به پمپ و ...)، سطح شوری محلول، نوع املاح و نمک‌های موجود در آب، شدت میدان مغناطیسی، تعداد آهنرباها، فاصله آهنرباها از یکدیگر، نحوه اعمال میدان مغناطیسی (جهت‌گیری قطب‌ها نسبت به آهنرباهای دیگر و همچنین نسبت به آب)، طول تأثیر مغناطیس، مدت زمان ماندگاری اثر مغناطیسی شدن، نوع مغناطیس (دائم یا متناوب)، تعداد عبور نمونه از مغناطیس، و نوع سیستم عبور آب (بسته یا باز).

۵- مراجع

Abdel Tawab RS, Younes MA, Ibrahim AM, Abdel Aziz MM (2011) Testing commercial water magnetizers: a study of TDS and pH. In: Fifteenth International Water Technology Conference, Alexandria, Egypt

Abdo Salehi SE, Banejad H (2009) Create a magnetic field for prevention obstruction in pressure systems when using unusual waters. In: The first international conference on the water crisis. University of Zabol (In Persian)

Ahmadi M, Khashie Siuki A, Shahidi A (2014) Effect of magnetic water and natural clinoptilolite zeolite on growth of green bean (Phaseolus vulgaris L). Iranian Journal of irrigation and Drainage 8(1):216-224 (In Persian)

Ashrafi SF, Naseri AA, Behzad M (2014) investigative of effect of magnetic saturated hydraulic conductivity. science and irrigation engineering (agriculture scientific journal) 36(4):28-19 (In Persian)

Banejad H, Ghahroodi I, IsnaAshari M, Liyagat AM (2013) The interaction of magnetic water and salinity on performance and components of basil plant. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 7(2):178-183 (In Persian)

Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD (1999) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation

Dehghani F, Abargouei NS, Qyasvnd A (2009) Effect of magnetic irrigation water on operation of greenhouse cucumber in Yazd. In: Proceeding of the Eleventh Congress of Iran Soil Science:1538-1536 (In Persian)

Gabrielli C, Jaouhari R, Maurin G, Keddam M (2001) Magnetic water treatment for scale prevention. Water Research, 35(13):3249–3259

Gholizadeh M, Arabshahi H, Benam MR (2005) The Effect of Magnetic Field on Scale Prevention in the

McMahon CA (2009) Investigation of the quality of water treated by magnetic fields. B.S. Thesis, University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying

Mirzaee Sh, Sharifan H (2014) Effect of using sea water in magnetic and non-magnetic sea conditions on germination of barley. First National Conference on Irrigation and water productivity. Irrigation and Drainage Board, Mashhad Ferdowsi University (In Persian)

Mosin O, Ignatov I (2014) Basic concepts of Magnetic Water Treatment. European Journal of Molecular Biotechnology 4(2):72-85

Mostafa GM, Hamed OA, Ba-Mardouf K, Al-Shil K (2001) Studies on effectiveness of magnetic fluid conditioner in control of scale formation in MSF plant. Issued as Technical Report No. TR-3808/EVP 95003

Powell M R (1998) Magnetic water and fuel treatment: Myth, Magic, or Mainstream Science?. Skeptical Inquiry, Volume 22.1

Quinn J, Molden TC, Sanderson CH (1997) Magnetic treatment of water prevents mineral build-up. Journal of Iron and Steel Engineer 74(7):47-53

Smothers KW, Curtiss CD, Gard BT, Strauss RH, Hock VF (2001) Magnetic Water Treatment. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC Public Works Technical Bulletin No. 420-49-34

White FM (2002) Fluid Mechanics. 5th edition, Tata McGraw Hill Education, 896 Pages

Industrial Boilers. International Journal of Applied Chemistry 1(1):84-89

Gholizadeh M, Arabshahi H, Saeidi MR, Mahdavi B (2008) The Effect of Magnetic Water on Growth and Quality Improvement of Poultry, Middle-East Journal of Scientific Research 3(3):140-144

Hilal MH, El-Fakhrani YM, Mabrouk SS, Mohamed AI, Ebead BM (2013) Effect of magnetic treatment irrigation water on salt removal from a sandy soil and on the availability of certain nutrients. International Journal of Engineering and Applied Sciences 2(2):36-44

Jiang L, Zhang JL, Li DK (2015) Effects of permanent magnetic field on calcium carbonate scaling of circulating water. Journal of Desalination and Water Treatment 53(5):1275-1285

Khorshidi N, Afshin H, Gholizade M (2004) The effect of Magnetic Water on some of the properties of fresh and hardened concrete. In: First National Congress of Civil Engineering, Sharif University of Technology (In Persian)

Kotb A (2013) Magnetized Water and Memory Meter. Journal of Energy and Power Engineering 5:422-426

Kotb A, Abdel Aziz AL (2013) Scientific investigations on the claims of the magnetic water conditioners. Journal of International Environmental Application and Science 8(3):384-396

Mazlumi S, Heidari S, Mahvi AH, Noori Sepehr M, Khodayari M (2013) Predicting and measuring the amount of scale deposition in polyethylene pipes with using of deposition and corrosion stability tests and provide effective solutions. Health magazine 4:164-156 (In Persian)