dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.44941

ارزیابی آلودگی چاه‌های آب شرب شهر قم به نیترات طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۵

محمد حسین رحیمی[۱]، نصرالله کلانتری[۲]، زهرا علی‌یاری[۳]، رضا محمدی احمدآبادی[۴]

۱- دانشجوی دکترای زمین‌شناسی- آبشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
(نویسنده مسئول) ۰۹۱۲۲۹۹۸۳۲۶ m_hosein_rahimi@yahoo.com
۲- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی-آبشناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۴- کارشناس ارشد زمین شناسی- آبشناسی، شرکت سهامی آب منطقه‌ای قم

(دریافت ۹٤/۱۲/۲٤ پذیرش ۹۵/۳/۲۹)

چکیده

آب‌های زیرزمینی یگانه منبع تأمین آب برای میلیون‌ها نفر در جهان است و آلوده شدن آنها تأثیرات عمده‌ای بر سلامت انسان‌ها، فعالیت صنایع، کشاورزی و محیط زیست دارد. آب شرب شهر قم از طرح‌های انتقال آب از حوضه‌های مجاور و چاه‌های شرب حفر شده در محدوده شهر تأمین می‌شود. کمبود منابع تأمین آب و نیاز آبی شدید در شهر باعث شده چاه‌های شرب داخل شهر نقش مهمی که در گذشته در تأمین آب شرب شهر داشته اند، کماکان حفظ کنند. نیترات به‌عنوان آلاینده‌ای گسترده و متداول آب زیرزمینی از فعالیت‌های انسانی و شهری منشاء می‌گیرد. آلودگی آب‌های زیرزمینی ممکن است برای سال‌ها، غیر قابل تشخیص باشد. احیای آبخوان‌های آلوده مشکل، پر هزینه، و در برخی اوقات غیر ممکن است. به‌منظور ارزیابی غلظت نیترات چاه‌های آب شرب شهر قم از نتایج آنالیز ٦۰۰ نمونه آب که توسط شرکت آب و فاضلاب قم در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ برداشت شده، استفاده شد. در این آنالیزها ۱۳٦ نمونه آلوده وجود داشت. همچنین به منظور اطمینان از نتایج آزمایش‌های شرکت آب و فاضلاب و تعیین محل هاله آلودگی در آذر ماه ۱۳۹۲ از ۲۷ حلقه چاه عمیق در محدوده شهر نمونه‌برداری و آلاینده نیترات در آزمایشگاه معتمد اندازه‌گیری شد. در این نمونه‌برداری میانگین غلظت نیترات نمونه‌ها ۷٤ میلی‌گرم در لیتر و انحراف از معیار آنها ۳۷ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد و آلودگی به‌نیترات در ۱۹ نمونه (۷۰ درصد نمونه‌ها) مشاهده شد. نتایج نشان داد که آبخوان قم در محدوده شهر قم به‌صورت گسترده به نیترات آلوده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نیترات، آلودگی آب، آب شرب، آبخوان قم

۱- مقدمه

آب زیرزمینی دارای موادی است که برای سلامت و محیط زیست زیان‌آور است (Kalantari et al. 2011). کیفیت آب زیرزمینی ممکن است در طول زمان بهره‌برداری تغیر کند و یا تحت تأثیر فعالیت‌های بشری قرار گیرد که این اثر همیشه دارای شواهد سریعی نیست. آلودگی می‌تواند نحوهٔ استفاده از آب را تحت تأثیر قرار دهد و مخاطراتی را برای بهداشت عمومی از طریق انتشار بیماری‌ها ایجاد کند (Todd & Mays 2005). نگرانی اصلی در سلامت عمومی استفاده از آبخوان‌های آسیب‌پذیر برای اهداف شرب بدون سنجش‌های تصفیه، یا ضدعفونی است. در منابع تأمین آب آسیب‌پذیر، کوتاهی در انجام تحقیقات همه جانبه، ریسک آلودگی آب شرب را افزایش می‌دهد (Cool et al. 2010). آب‌های زیرزمینی آلوده خطر قابل توجهی برای سلامت بشر و محیط زیست محسوب می‌شوند (Charbeneau 2006).

از آلاینده‌های آب زیرزمینی اجزای چرخه نیتروژن است، به گونه‌ای که آلودگی منابع آب زیرزمینی به نیترات در حال حاضر یکی از مهم‌ترین مسائل زیست محیطی محسوب می‌شود (Tabatabaei et al. 2009). سه منشا مهم آلاینده‌های نیتروژن‌دار آب زیرزمینی منابع انسانی، تثبیت نیتروژن توسط فرایندهای بیولوژیکی و نزولات جوی است (Kumar & Anderson 2014). اکثر موارد نفوذ نیترات در آب‌های زیرزمینی به‌صورت یک آلاینده انتشاری از کشاورزی ناشی می‌شود و غلظت‌های نیترات را می‌توان تا حدودی با میزان استفاده از کودهای نیتراته در ارتباط دانست (Lerner & Papatolios 1993). چاهک‌های جذبی (چاه‌های

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.44941

فاضلاب) می‌تواند تأثیرات محلی بر آلودگی آب‌های زیرزمینی داشته باشد (Fetter 2001). از یون نیترات می‌توان به‌منظور بررسی تأثیر چاهک‌های جذبی بر آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده نمود (Lu et al. 2007) به‌دلیل افزایش فعالیت‌های شهری و تولید بیشتر فاضلاب‌ها، آلودگی نیترات منابع آبی رو به افزایش است (Freeze & Cherry 1979). قبرستان نیز می‌تواند از منابع آلاینده نیترات در آب‌های زیرزمینی باشد (USEPA 1993). علاوه بر منابع انسانی، فرایندهای بیوشیمیایی نیز در آلودگی آب‌های زیرزمینی نقش دارند. در آب زیرزمینی نیتروژن در حالت اکسیدی نیترات و آمونیوم یافت می‌شود (Lu et al. 2007). واکنش اجزای نیتروژن‌دار با محیط در برگیرنده، سبب اکسید شدن آن‌ها می‌شود که در نهایت آلودگی آبخوان را در پی دارد. اوره و مواد نیتروژن‌دار با ورود به بخش غیر اشباع به آمونیوم تبدیل می‌شوند. در یک محیط اکسیدان، آمونیوم تحت فرایند نیترات زائی (نیتریفیکاسیون) به نیترات تبدیل می‌شود. یکی دیگر از منابع آلاینده نیترات آب‌های زیرزمینی نزولات جوی است. حل شدن مواد نیتروژن‌دار در آب باران تحت تأثیر صاعقه‌های به‌وجود آمده در اتمسفر و واکنش گاز نیتروژن می‌تواند به‌عنوان منبعی دیگر برای مواد نیتروژنی در آب‌های زیرزمینی لحاظ شود که نسبت به دیگر منابع آلاینده سهم کمتری در آلودگی آن دارد (Shahsavandi 2008).

اشکال معمول نیتروژن غیرآلی شامل نیترات، نیتریت، گاز نیتروژن، آمونیوم و سیانید می‌باشند که در این بین نیترات به‌عنوان عمده‌ترین شکل نیتروژن و شایع ترین آلاینده آب‌های زیرزمینی لقب گرفته است (Fetter 1999). نیترات به‌عنوان آلاینده‌ای گسترده و متداول آب زیرزمینی از فعالیت‌های انسانی و شهری منشاء می‌گیرد (Goulding 2000). نیترات در آب محلول است و توسط خاک‌های غنی از رس جذب نمی‌شود. به‌همین سبب پس از ورود به آب زیرزمینی به‌صورت یک هاله[1] به سمت اعماق بیشتر رفته و در جهت جریان حرکت می‌کند (Kenney 1989).

خطر اولیه نیترات در آب‌های آشامیدنی زمانی اتفاق می‌افتد که در دستگاه گوارش نوزادان یون نیترات پس از احیا به نیتریت تبدیل شود. نیتریت باعث اکسید شدن آهن موجود در هموگلوبین گلبول‌های قرمز و تبدیل هموگلوبین به متهموگلوبین[2] می‌شود که ظرفیت اکسیژن رسانی بسیار کمتری از هموگلوبین دارد و در نتیجه به بافت‌ها اکسیژن کافی نمی‌رسد و بعداز مدتی رنگ پوست (در ناحیه دور چشم و دهان) به تیرگی می‌گراید که به آن سندرم بچه آبی می‌گویند (Petakove & Vanove 1970; Maila et al. 2004). در بزرگسالان، نیترات در بدن به ترکیبی سرطانزا به نام نیتروزآمین تبدیل می‌شود و احتمال بروز سرطان‌های دستگاه گوارش و مثانه را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، مقادیر بیش از حد مجاز نیترات در آب‌های آشامیدنی سبب ایجاد بیماری‌های گواتر، نقص مادر زادی، سرطان معده و متاگلوبین در انسان می‌شود (Majudar & Gupta 2000).

غلظت زیاد نیترات برای حیوانات نشخوار کننده مانند گاو و گوسفند نیز سمیت ایجاد می‌کند (Khosravi Sehkordi et al. 2006).

نیترات در اغلب استانداردهای معتبر آب آشامیدنی از قبیل راهنمای کیفیت آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی، استاندارد اتحادیه اروپا، استاندارد حفاظت محیط زیست امریکا و استاندارد کمیته آب آشامیدنی کانادا جایگاه مهمی دارد (WHO 2011; Council of the European Union 1998; USEPA 2000).

باید در نظر داشت که در برخی استانداردها بیشینه غلظت مجاز آلاینده‌های نیتروژن‌دار برحسب نیتروژن و در برخی از استانداردها بر حسب یون آلاینده ارائه می‌شود. بیشینه غلظت مجاز یون نیترات بر اساس استانداردهای کشور ایران، سازمان بهداشت جهانی و اتحادیه اروپا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و براساس استاندارد کمیته آب آشامیدنی کانادا ۴۵ میلی‌گرم در لیتر است (Institute of Standards & Indusrial Research of Iran 2010).

در استاندارد حفاظت محیط زیست امریکا بیشینه غلظت مجاز برای یون نیترات ۱۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب نیتروژن است.

در طی دو دهه گذشته، آلودگی نیترات در داخل و خارج از کشور مورد مطالعه و بررسی بیشتری قرار گرفته است (Kenney 1989; Lui et al. 1997; Pacheco & Cabrera 1997; Bowers 2000; Obeidat et al. 2007; Fetouani et al. 2008; Zheng et al. 2007; Jiang & Somers 2009; Stamatis et al. 2011; Zhong & Hiscock 2011; Latifi et al. 2005; Jukar Nyasar & Atai Ashtiani 2006; Nasseri et al. 2015).

۲- منطقه مورد مطالعه

وسعت آبخوان آبرفتی قم حدود ۵۰۰ کیلومتر مربع است. در بخش شمال غربی آبخوان رودخانه فصلی قمرود وارد آبخوان شده و پس

[1] Plume
[2] Methemoglobin

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.44941

از طی مسافتی حدود ۱۰ کیلومتر از آبخوان خارج می‌شود. در طرفین قمرود شهر قم توسعه یافته، به‌طوری که در حال حاضر وسعت شهر و حومه آن حدود ۱۰۰ کیلومترمربع است. تغذیه مناسب از قمرود در دهه‌های گذشته و قبل از خشک شدن آن و رسوبات تراوا در بستر قمرود باعث شده است اغلب چاه‌های تأمین آب شرب شهر در حاشیه بستر این رودخانه تعین محل شوند. آب شرب شهر قم از منابع متفاوتی از قبیل سرشاخه‌های دز، سد پانزده خرداد، چاه‌های آبخوان مجاور(دشت علی‌آباد) و چاه‌های شرب حفر شده در محدوده شهر تأمین می‌شود. نیاز آبی شدید در شهر و کمبود منابع تأمین آب مناسب باعث شده چاه‌های شرب داخل شهر نقش مهمی که در گذشته در تأمین آب شرب داشته‌اند، کماکان حفظ کنند. حفاظت کمّی و کیفی از این بخش از آبخوان که در محدوده شهر واقع شده است به‌دلیل این که چاه‌های آب شرب شهر در آن واقع شده است بسیار حائز اهمیت است زیرا در محدوده‌های شهری به دلیل حجم زیاد آلاینده‌ها آبخوان‌ها اغلب آسیب‌پذیرتر هستند.

۳- مواد و روش‌ها

به‌منظور پایش کیفی چاه‌های آب شرب قم به‌صورت تصادفی سالانه در چندین نوبت از چاه‌های آب شرب نمونه‌گیری و نمونه‌ها در آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب قم مورد آنالیز قرار می‌گیرد. نتایج آنالیز نیترات این چاه‌ها از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۲ در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است (Qom Water and Wastewater Co. 2013).

در مجموع در طی این مدت ۶۰۰ آنالیز NO_3 از چاه‌های آب شرب قم موجود بوده است. تعداد آنالیزهای هر چاه متفاوت و بیشینه آنالیزها برای یک چاه ۲۱ نمونه و کمینه آنها ۱ نمونه بوده است.

با توجه به محرمانه بودن اطلاعات آب و فاضلاب در این تحقیق نام چاه‌ها به شناسه‌های غیر واقعی ۱، ۲، ۳، ....۵۱، ۵۲ تغییر یافت و از ارائه نقشه‌های مکانی اجتناب شد.

تعداد زیاد چاه‌ها و دوره‌های نمونه‌برداری، تفسیر داده‌ها را با مشکل روبرو می‌کند. انتخاب تصادفی نمونه‌ها و یا دوره‌های نمونه‌برداری نیز دید کاملی از آنچه رخ داده نشان نخواهد داد. محاسبات آماری و مقایسه‌های آماری برای نمونه‌های نابرابر پیچیده‌تر است. داده‌های منابع آب به ندرت موقعیت‌هایی را شامل می‌شود که اندازه‌های برابر داشته باشند، بطری‌های نمونه برداری می‌شکند، آنالیز تمامی نمونه‌ها در آزمایشگاه میسر نمی‌شود، برنامه‌های نمونه‌برداری تغییر می‌کند، چاه‌های جدیدی حفر می‌شوند و چاهایی نیز از مدار خارج می‌شوند (Helsel & Hirsch 2002). با وجود موارد ذکر شده نمی‌توان از داده‌های ارزشمند اغلب نابرابر قدیمی چشم پوشی کرد. به‌منظور یکسان‌سازی داده‌ها برای بررسی تغییرات زمانی، میانگین مقدار نیترات نمونه‌های برداشت شده در هر سال محاسبه و میانگین سالانه نیترات هر چاه در طی سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ به‌دست آمد. در چاه‌هایی که یک یا حداکثر دو سال میانگین سالانه نیترات وجود نداشت، از طریق درون‌یابی، داده‌های از دست رفته به‌دست آمد و در صورتی که داده‌های از دست رفته بیش از این مقدار بود، اطلاعات آن چاه حذف شد.

همچنین به‌منظور اطمینان از نتایج آزمایش‌های شرکت آب و فاضلاب شهر قم، شناسایی موقعیت هاله آلودگی و تاثیر عوامل مؤثر بر آن در آذر ماه ۱۳۹۲ از ۲۷ حلقه چاه عمیق در محدوده شهر نمونه‌برداری شد. در انتخاب نقاط نمونه‌برداری سعی شد اغلب نقاط نمونه‌برداری از چاه‌های شرب انتخاب شود از آنجایی که چاه‌های شرب کل محدوده شهر را پوشش نمی‌دهند به‌منظور تعیین محل هاله آلودگی از تعدادی چاه عمیق پراکنده در سطح شهر با کاربری غیر شرب نیز نمونه برداری شد. آلاینده نیترات در آزمایشگاه مهندسین مشاور آرین فن آزما به روش رنگ‌سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر هچ[1] مدل DR2800 آنالیز و برای شناسایی نیترات از معرف بروسین استفاده شد. به‌منظور ارزیابی آلودگی نیترات از استاندارد آب آشامیدنی ایران استفاده شد (Institute of Standard and Industrial Research of Iran 2010).

۴- نتایج و بحث

در شکل ۱ کیفیت چاه‌های آب شرب شرکت آب و فاضلاب شهر قم از لحاظ یون نیترات در مقایسه با استاندارد آب آشامیدنی ایران نمایش داده شده است. در این نمودارها مقایسه کیفیت چاه‌های آب شرب شرکت آب و فاضلاب شهر قم از لحاظ آلاینده‌های نیتروژن با استاندارد آب آشامیدنی ایران نمایش داده شده است (Institute of Standard and Industrial Research of Iran 2010)

[1] HACH

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.44941

یکی از مهم‌ترین وظایف در تحقیقات آب زیرزمینی، ترجمه داده‌های شیمیایی به طریقی مناسب می‌باشد که بتوان آنها را به نگاهی مورد بازرسی قرار داد (Freeze & Cheng 1979).

تفسیر جداولی که نتایج سنجش های شیمیایی آب زیرزمینی را نشان می دهند، مشکل است. برای فائق آمدن بر این مشکل، ارائه نموداری داده‌ها به‌منظورهای نمایش داده‌ها، مقایسه سنجش‌ها و تأکید بر تشابهات و تفاوت‌های نمونه‌های آب صورت می‌گیرد (Nasseri & Aligani 2002). از این رو سعی شده است با طراحی جدول خاص بر این مشکلات چیره شد و ارزیابی آلودگی در زمان و مکان را به سادگی انجام داد (جدول ۱). در این جدول مقدار غلظت نمونه بیش از بیشینه مجاز آلاینده[1] با رنگ زمینه قرمز و غلظت کمتر از آن با رنگ زمینه آبی مشخص شده است. همچنین مشخصات آماری تعداد نمونه‌ها، تعداد نمونه‌های آلوده، درصد نمونه‌های آلوده، کمینه، میانگین و بیشینه، دامنه و انحراف از معیار غلظت آلاینده در بین نمونه‌ها در این جدول ارائه شده است. با توجه به جدول ۱ در طی سال‌های ۱۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ از چاه‌های عمیق شرب داخل شهر ۶۰۰ نمونه نیترات برداشت شده است که در ۱۳۶ نمونه غلظت آلاینده نیترات بیشتر از بیشینه مجاز (آلوده) و در ۴۶۴ نمونه کمتر از بیشینه مجاز اندازه‌گیری شده است. به‌عبارت دیگر آلودگی به نیترات در ۲۳ درصد نمونه‌ها وجود دارد. کمینه غلظت آلاینده نیترات در بین کل نمونه‌ها ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، بیشینه آن ۸۹ میلی‌گرم در لیتر و میانگین غلظت این آلاینده در چاه‌های شرب ۳۹ میلی‌گرم در لیتر بود. در شکل ۱ کمینه، میانگین و بیشینه غلظت نیترات چاه‌ها بر اساس نمونه‌های برداشت شده از هر چاه در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ نشان داده شده است. در بین ۵۲ حلقه چاه شرب، میانگین غلظت نیترات در ۱۱ حلقه چاه (۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۲۷، ۳۰، ۴۲، ۴۶، ۴۸ و ۴۹) بیشتر از بیشینه مجاز یون نیترات (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد. در شکل ۲ تعداد نمونه‌های آلوده و پاک در نمونه‌برداری‌های چاه‌های آب شرب قم در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ نشان داده شده است. در بین نمونه‌های برداشت شده از هر چاه در ۱۹ حلقه چاه (۳، ۶، ۸، ۹، ۱۸-۲۱، ۲۹، ۳۱، ۳۲، ۳۴، ۳۵،۳۷، ۳۸، ۴۳، ۴۵، ۵۱ و ۵۲) هیچ نمونه آلوده‌ای مشاهده نشد ولی در ۳۳ حلقه چاه دیگر حداقل یک نمونه آلوده وجود داشت. تعداد نمونه‌های آلوده در

[1] Maximum Contaminant Level (MCL)

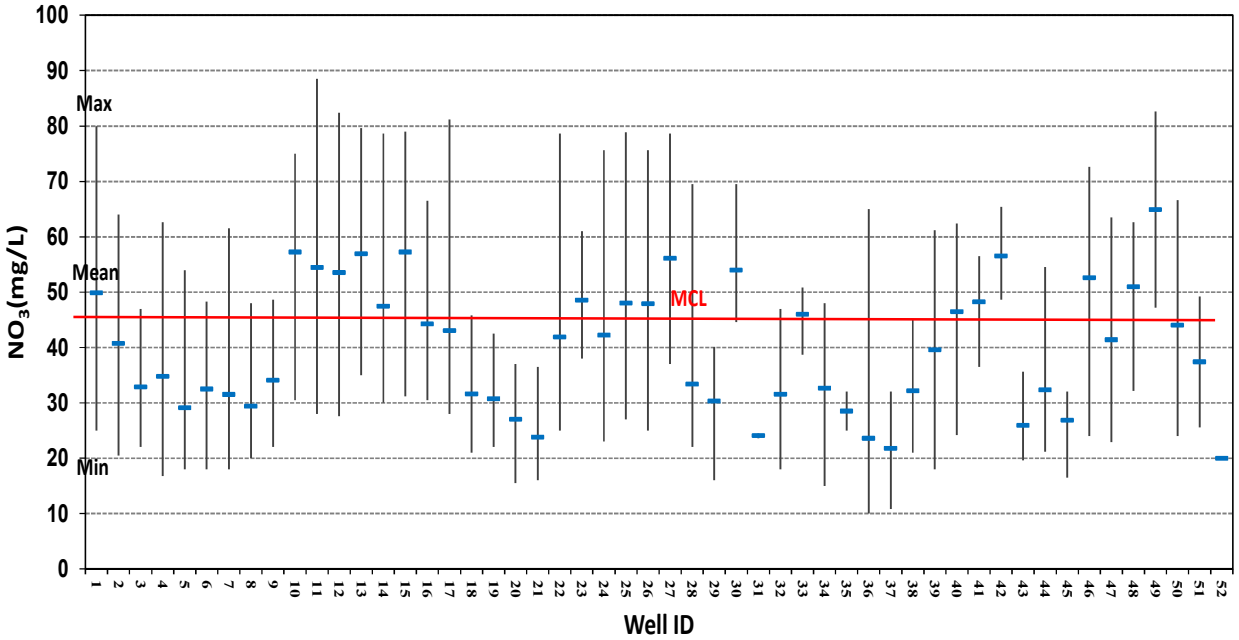
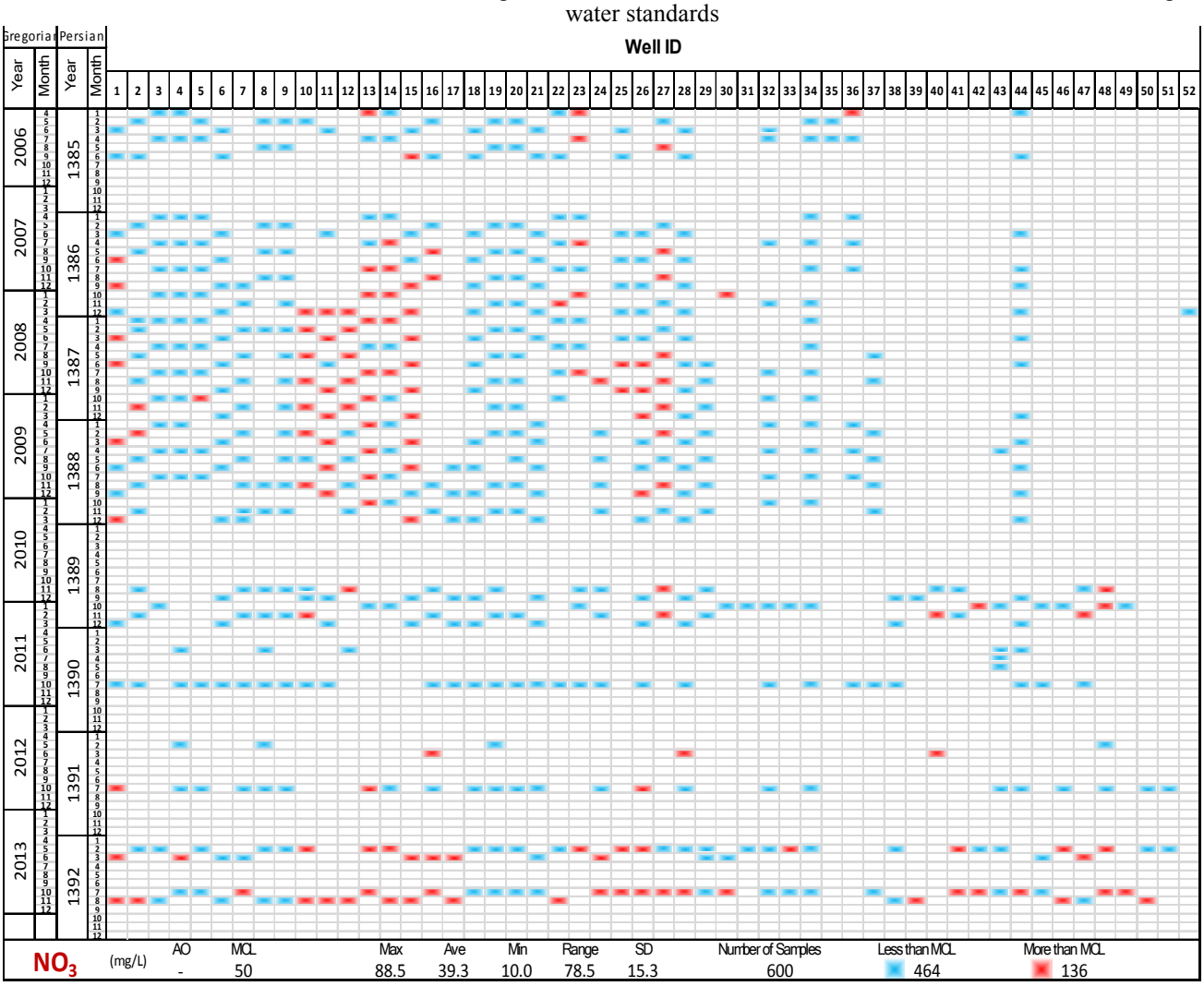


Fig. 1. Minimum, average, and maximum NO_3 concentrations in each of the Qom drinking water wells

شکل ۱- کمینه، میانگین و بیشینه غلظت نیترات در هر یک از چاه‌های آب شرب قم

جدول ۱- مقایسه کیفیت چاه‌های آب شرب شرکت آب و فاضلاب شهر قم از لحاظ یون نیترات با استاندارد آب آشامیدنی ایران

Table 1. NO_3 ion content in the drinking water abstracted from Qom water wells versus the Iranian drinking water standards



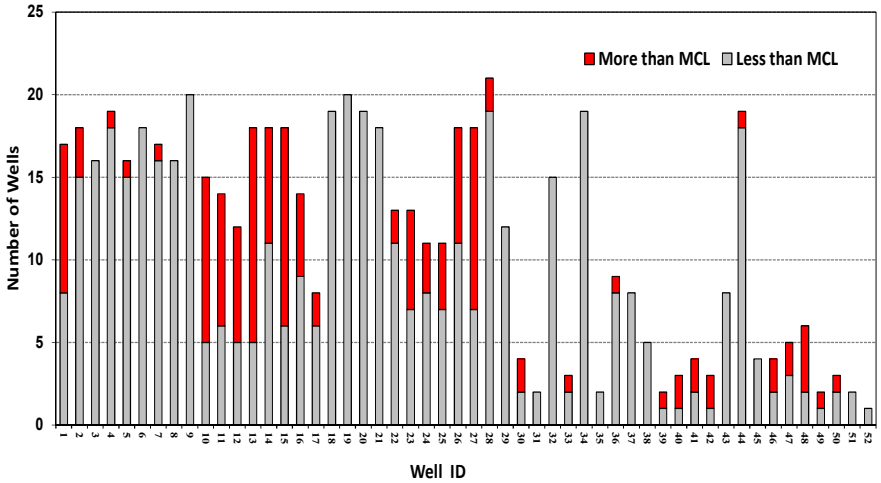


Fig. 2. Comparison of polluted and clean warter samples with respect to their NO_3 content from each of the Qom drinking water wells

شکل ۲- مقایسه نمونه‌های آلوده و نمونه‌های پاک از لحاظ یون نیترات در هر یک از چاه‌های آب شرب قم

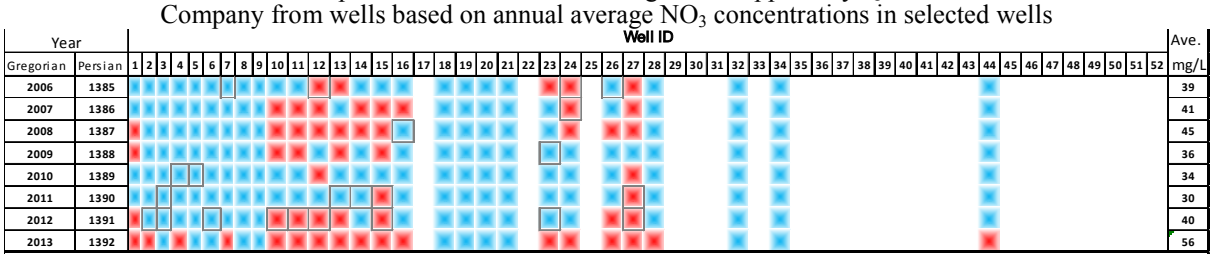
dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.44941

چاه‌های ۱، ۱۰-۱۶، ۲۳، ۲۶ و ۲۷ قابل توجه می‌باشد. چاه‌های دارای آمار مناسب با توجه به میانگین سالانه نیترات در آن‌ها از لحاظ آلودگی به این آلاینده تفکیک و در جدول ۲ نشان داده شده است. بر این اساس کمینه، میانگین و بیشینه، میانگین سالانه نیترات چاه‌های شرب در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ در شکل ۳ نشان داده شده است. میانگین نیترات سالانه چاه‌های مورد بررسی در سال ۱۳۹۲ برابر ۵۶ میلی‌گرم در لیتر و بیشتر از بیشینه مجاز برای این آلاینده بود. در سال‌های قبل هر چند چاه‌هایی آلوده در بین چاه‌ها وجود داشت ولی میانگین غلظت نیترات چاه‌ها کمتر از بیشینه مجاز آلودگی بود. با توجه به این که نمونه‌برداری‌هایی که در سال ۱۳۹۲ صورت گرفته است اغلب چاه‌های شرب را پوشش داده است به همین دلیل با قطعیت می‌توان اظهار داشت حتی اختلاط آب چاه‌های آلوده و غیر آلوده نیز نمی‌تواند غلظت نیترات را در آب شرب به کمتر از بیشینه مجاز برساند. بیش از نیمی از نمونه‌های برداشت شده در سال ۱۳۹۲ آلوده بوده‌اند. در سال ۱۳۹۲ چاه‌ها به‌صورت مستقیم به شبکه آبرسانی تزریق می‌شده است و امکان اختلاط آب‌ها بسیار کم بوده است. از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۲ که اطلاعات در دسترس بود چاه‌های شرب آلوده به نیترات در آبخوان همیشه وجود داشته است.

نتایج آنالیز آلاینده‌های نیتروژن در نمونه‌برداری صورت گرفته در این تحقیق در آذر ماه ۱۳۹۲ در جدول ۳ ارائه شده است. در شکل ۴ نقشه غلظت نیترات با توجه به این نمونه‌برداری نشان داده شده است. در این شکل نمونه‌های آلوده به نیترات با رنگ قرمز و نمونه‌های پاک با رنگ سبز مشخص شده‌اند. از ۲۷ نمونه برداشت شده ۱۹ نمونه به نیترات آلوده می‌باشد. کمینه و بیشینه نیترات در این نمونه‌برداری به ترتیب ۱۳ و ۱۸۲ میلی‌گرم در لیتر، میانگین ۷۴ میلی‌گرم در لیتر و انحراف از معیار آن ۳۷ بود. با توجه به شکل ۴ هاله آلودگی به نیترات محدوده وسیعی از شهر را فرا گرفته بود و به جز نوار باریکی در شمال و غرب حاشیه شهر بقیه نواحی شهر به نیترات آلوده شده بود. در این نمونه‌برداری غلظت آلاینده‌ها

جدول ۲- ارزیابی آلودگی چاه‌های آب شرب شرکت آب و فاضلاب شهر قم با توجه به میانگین غلظت نیترات سالانه چاه‌های انتخابی

Table 2. Evaluation of the pollution level of the drinking water supplied by Qom Water and Wastewater Company from wells based on annual average NO_3 concentrations in selected wells



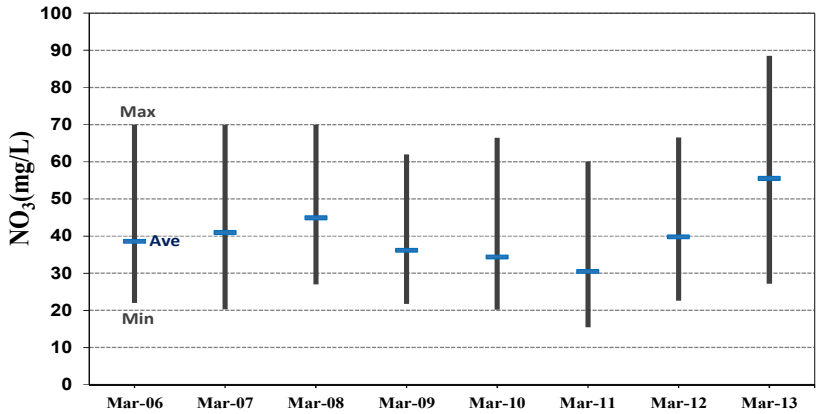


Fig. 3. Annual minimum, average, and maximum NO_3 in concentrations of Qom drinking water wells from 2006 to 2013

شکل ۳- کمینه، میانگین و بیشینه میانگین سالانه غلظت نیترات در چاه‌های آب شرب قم از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲

Table 3. Dec. 2013 nitrogen pollution (mg/L) test results across the city of Qom
جدول۳- نتایج آنالیز آلاینده‌های نیتروژن در محدوده شهر قم آذرماه ۱۳۹۲ (mg/L)

Drinking Water Well																	
Well ID	2	8	10	12	13	15	20	21	25	27	29	30	32	34	39	41	47
NO_3	51	40	103	87	94	97	36	41	91	182	43	101	56	42	13	71	79
NO_2	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
NH_4	0.03	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02	<0.01	0.03	0.05	0.05	<0.01	<0.01	0.03	0.03	<0.01	<0.01

Well										
Well ID	1W	2W	3W	4W	5W	6W	7W	8W	9W	10W
NO_3	88	141	27	76	107	70	80	53	94	33
NO_2	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
NH_4	0.04	0.04	0.1	<0.01	0.03	0.02	0.08	0.06	0.07	0.02

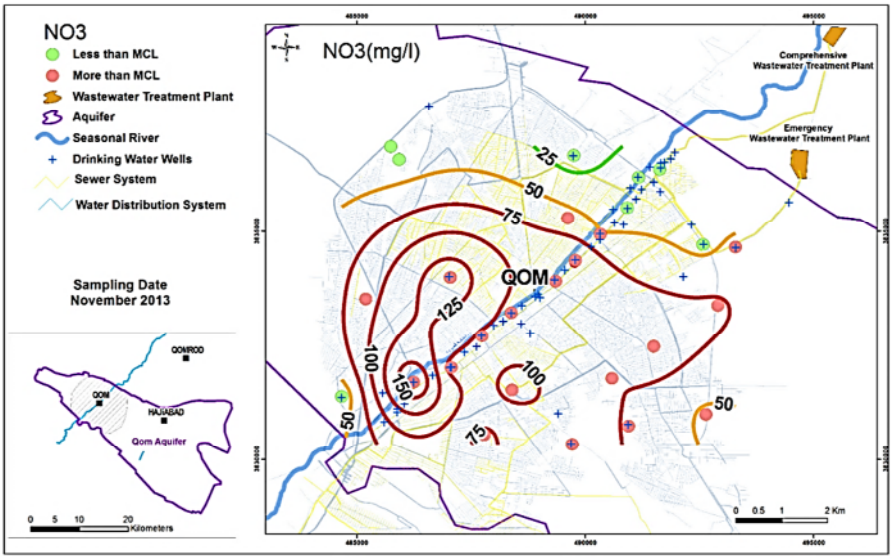


Fig. 4. NO_3 pollution plume in the city of Qom (Dec. 2013)
شکل۴- هاله آلودگی نیترات در محدوده شهر قم آذرماه ۱۳۹۲

NH_4 و NO_2 در محدوده شهر کمتر از بیشینه مجاز بود. مقادیر کم یون‌های NH_4 و NO_2 و به آن دلیل است که این آلاینده‌ها تحت فرایند نیترات‌زایی به نیترات تبدیل شده‌اند.

شناسایی منشاء آلودگی می تواند کمک بزرگی باشد، زیرا دیدی کلی از آسیب پذیری منبع تأمین آب را نشان می‌دهد (Paul et al. 2004; Cimenti et al. 2005).

به دلیل این که مواد نیتروژن‌دار در تشکیلات زمین شناسی بسیار نادر می‌باشند، میزان نیترات آب‌های زیرزمینی در حالت طبیعی کم است به گونه‌ای که به جز در موارد آلودگی غلظت یون نیترات به بیش از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نمی‌رسد (Hounslow 1995).

بررسی‌هایی که به منظور ارزیابی آلودگی آبخوان قم در سال ۱۳۸۵ صورت گرفته، حاکی از آن است که در آبخوان قم با وجود فعالیت‌های کشاورزی آلودگی به نیترات وجود ندارد (Hounslow 1995).

منشاء حضور نیترات را می‌توان در فعالیت‌های شهرنشینی جستجو نمود. وجود این ماده در آب‌های زیرزمینی می‌تواند حاکی از آلودگی خاک در اثر تماس با منابع آلوده کننده‌ای همچون فاضلاب‌های شهری باشد. دفع فاضلاب‌های خانگی به صورت سنتی توسط چاهک‌های جذبی در زون غیر اشباع، نفوذ و تراوش از آن‌ها سبب آلودگی آبخوان می شود. این نوع از منابع آلاینده نقطه‌ای به‌دلیل تغذیه پیوسته آب‌های برگشتی

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.44941

آن‌ها به آبخوان، بسیار خطرناک تر از منابع آلاینده گسترده می‌باشند (Maila et al. 2004).

با توجه به شکل ۴ مشخص است که نمونه‌های آلوده به نیترات حتی در مناطقی که شبکه جمع‌آوری فاضلاب توسعه یافته است مشاهده می‌شود. در این مناطق ساکنانی وجود دارند که به‌دلیل هزینه‌های اشتراک و آبونمان شبکه فاضلاب ترجیح می‌دهند فاضلاب خود را به جای تخلیه در سیستم جمع‌آوری فاضلاب در چاهک جذبی تخلیه نمایند. همچنین حرکت آب‌های زیرزمینی نیز می‌تواند باعث جابجایی آلودگی و انتقال مواد آلاینده به این مناطق شود.

مفهوم آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بر این فرض استوار است که فیزیک محیط زیست، تا حدودی از آب‌های زیرزمینی محافظت می‌کند. عمق سطح آب زیرزمینی به‌عنوان شاخص اصلی آسیب‌پذیری است و با کاهش عمق سطح آب زیرزمینی، آسیب‌پذیری آبخوان افزایش می‌یابد. بر اساس تعریف یونسکو مناطقی که در آن عمق سطح آب زیرزمینی از ۱۰ متر کمتر است، آسیب‌پذیری زیاد و مناطقی که عمق بیشتر از ۳۰ متر است، آسیب‌پذیری کم است (Kholghi 2012).

در سال ۱۳۹۲ متوسط عمق سطح آب زیرزمینی آبخوان شهر قم ۴۲ متر از سطح زمین بود. بیشترین عمق سطح آب زیرزمینی در محل ورودی قمرود به محدوده شهر حدود ۶۰ متر و کمترین عمق در محدوده شمال غربی شهر حدود ۳۰ متر است (شکل ۵)

وضعیت آلودگی به نیترات در شهر قم نشان می‌دهد که در نقاطی که عمق سطح آب زیرزمینی زیاد است، آلودگی نیز زیاد است در صورتی که باید برعکس باشد. در شکل ۶ متوسط عمق سطح آب زیرزمینی آبخوان در محدوده شهر قم در طی سال‌های گذشته نشان داده شده است. از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ حدود ۱۰ متر سطح ایستابی در دشت پایین رفته است و انتظار می‌رفت که طی این مدت از آلودگی آبخوان کاسته شود ولی همان‌طور که در شکل ۲ نمایش داده شده است بر میزان آن افزوده شده است. سایر عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری آبخوان از قبیل جنس رسوبات تراوا در بخش غیر اشباع، نقش تعیین کننده‌تری در آسیب پذیری آبخوان داشته‌اند. این احتمال نیز وجود دارد که با کاهش تراز سطح ایستابی و کم شدن ذخیره مخزن آب زیرزمینی نسبت به غلظت معینی از آلاینده، منجر به افزایش غلظت شده باشد.

در شکل ۷ جهت حرکت جریان‌های آب زیرزمینی و پراکندگی آلودگی به نیترات در شهر قم نشان داده شده است. جهت جریان اصلی آب زیرزمینی در شهر قم از سمت شمال غرب به جنوب شرق می‌باشد. با توجه به جهت حرکت جریان‌های آب‌های زیرزمینی نمونه‌های با نیترات کم اغلب

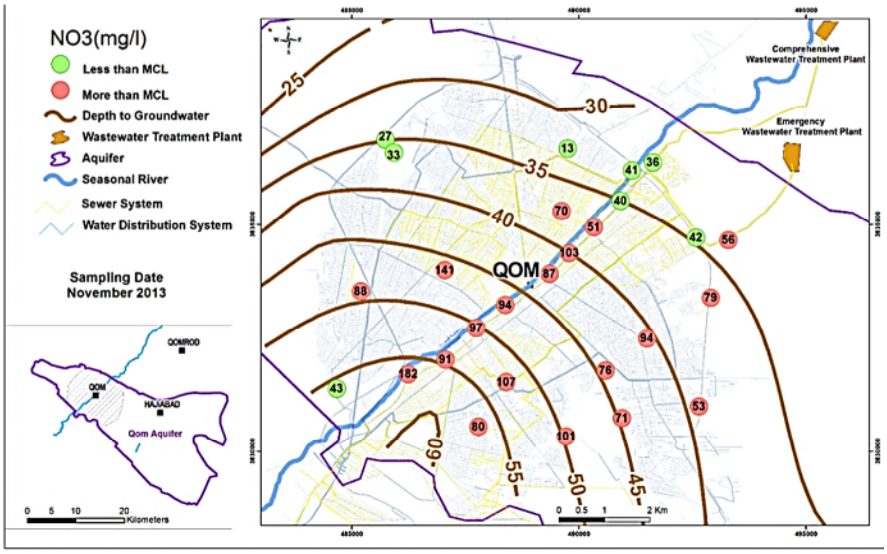


Fig. 5. Groundwater depths and NO_3 pollution in the city of Qom (Dec. 2013)

شکل۵- عمق آب زیرزمینی و آلودگی نیترات در محدوده شهر قم آذرماه ۱۳۹۲

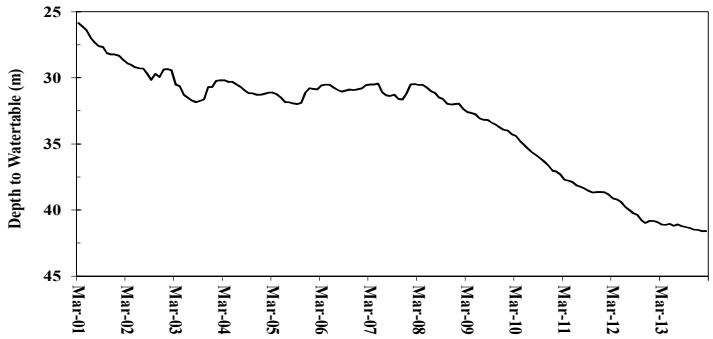


Fig. 6. Average aquifer depth within the city of Qom

شکل۶- متوسط عمق سطح آب زیرزمینی آبخوان در محدوده شهر قم

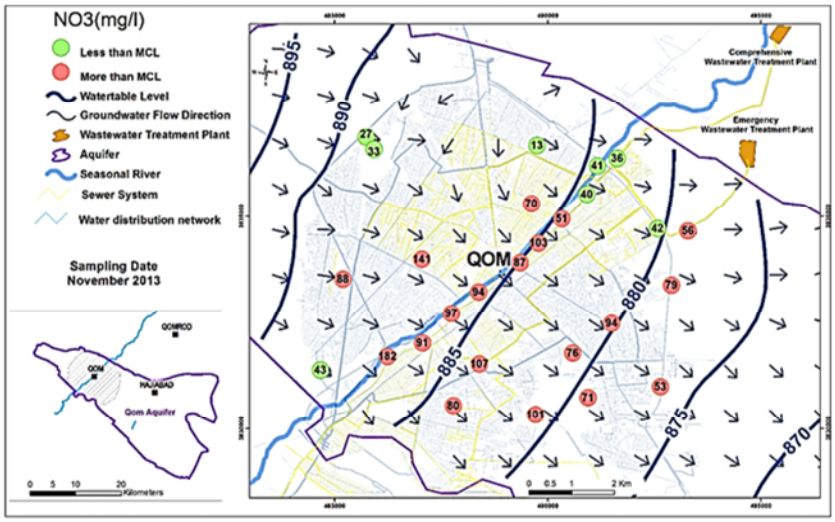


Fig. 7. Groundwater flow and NO_3 pollution directions in the city of Qom (Dec. 2013)

شکل۷- جهت جریان‌های آب زیرزمینی و آلودگی نیترات در محدوده شهر قم آذرماه ۱۳۹۲

در محل ورودی جریان‌های آب زیرزمینی مشاهده شده است. به‌نظر می‌رسد اختلاط آب‌ها در محل ورودی جریان‌های آب زیرزمینی باعث رقیق شدگی هاله آلودگی در شمال و غرب حاشیه شهر شده است. با توجه به جهت جریان خروجی‌های آب‌زیرزمینی و نبود آنالیز آلاینده‌ها در جنوب و شرق حاشیه شهر احتمال پیشروی جبهه آلودگی به سمت دشت قم وجود دارد. در شکل ۴ محدوده تحت پوشش شبکه فاضلاب و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نشان داده شده است. فاضلاب‌های شهری جمع‌آوری شده در تصفیه‌خانه فاضلاب فوری اضطراری و تصفیه‌خانه فاضلاب طرح جامع تصفیه می‌شوند. شبکه جمع‌آوری فاضلاب در شهر قم هنوز کامل نشده است و تنها بخشی از فاضلاب شهری توسط شبکه فاضلاب جمع‌آوری می‌شود و بخش اعظم آن از طریق چاه‌های فاضلاب خانگی پراکنده در محدوده شهر به آبخوان تخلیه می‌شود. حجم فاضلاب جمع‌آوری شده به تدریج افزایش یافته و در سال ۱۳۹۲ مقدار فاضلاب جمع‌آوری شده ۲۳/۸ میلیون مترمکعب بوده است (Qom Water and Wastewater Co. 2013).

شکل‌های ۳ و ۸ نشان می‌دهند علی‌رغم جمع‌آوری فاضلاب در بخشی از شهر، از آلودگی آبخوان به نیترات کاسته نشده است.

در شکل ۹ حجم و منابع تأمین آب شرب شهر قم در طی سال‌های

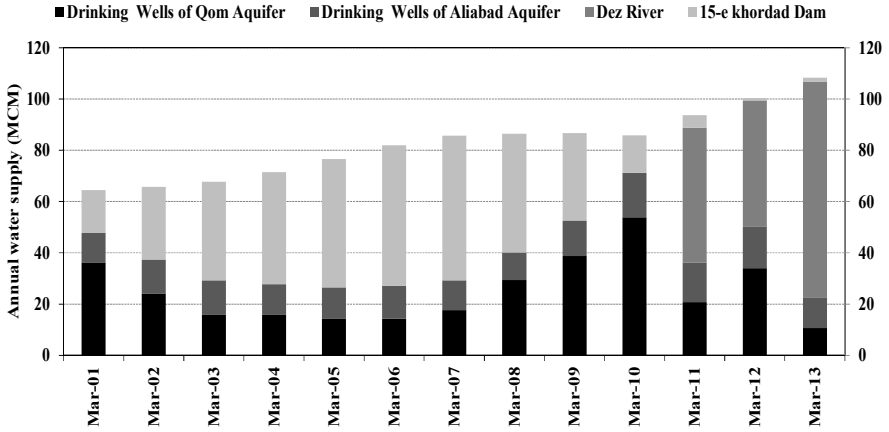


Fig. 8. Drinking water supplies for the city of Qom during the period 2001 to 2013

شکل۸- منابع تأمین آب شرب شهر قم در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲

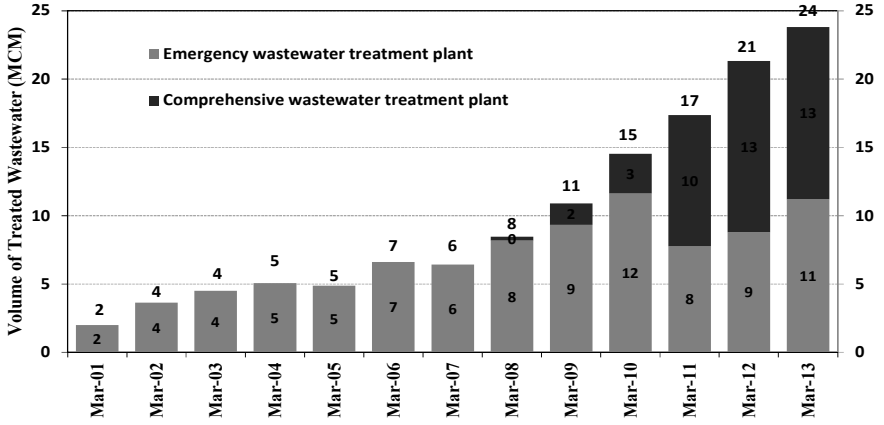


Fig. 9. Volume of urban wastewater collected in the city of Qom from 2001 to 2013

شکل ۹- حجم فاضلاب شهری جمع آوری شده شهر قم در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲

۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ نشان داده شده است. نیاز آبی شهر ۴۴ میلیون مترمکعب و با در نظر گرفتن ضریب ۸۰ درصد ۳۵/۲ میلیون متر مکعب به حجم فاضلاب ورودی به آبخوان افزوده شده است و در شرایط کنونی تنها ۲۳/۸ میلیون مترمکعب آن در شبکه فاضلاب جمع‌آوری می‌شود. هر چند در طی یک دهه گذشته شبکه جمع‌آوری فاضلاب بخشی از فاضلاب خانگی در سطح شهر را جمع‌آوری نموده است ولی از آنجا که در طی این مدت حجم نیاز آبی شهر بیش از حجم فاضلاب جمع‌آوری شده افزایش یافته، در نتیجه حجم فاضلاب ورودی به آبخوان نسبت به گذشته افزایش یافته است. از این رو در سال‌های اخیر با وجود گسترش شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب و افزایش عمق آب زیرزمینی بر شدت آلودگی در محدوده شهر افزوده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

آلودگی به نیترات یکی از شایع‌ترین آلودگی‌های شیمیایی آب است. نیترات برای بقای بسیاری از موجودات حیاتی است اما با این وجود یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق دنیاست. این بررسی نشان داد که در ۶۰۰ نمونه نیترات چاه‌های آب شرب که توسط شرکت آب و فاضلاب قم طی سال‌های ۱۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ اندازه‌گیری شده است در ۱۳۶ نمونه غلظت آلاینده نیترات بیشتر از بیشینه مجاز می‌باشد به‌عبارت دیگر آلودگی به نیترات در ۲۳ درصد نمونه‌ها وجود داشته است و میانگین غلظت آن در نمونه‌ها ۳۹ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شده است. میانگین نیترات سالانه چاه‌های مورد بررسی در سال ۱۳۹۲

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.44941

برابر ۵۶ میلی‌گرم در لیتر و بیشتر از بیشینه مجاز برای این آلاینده بود. در سال‌های قبل هر چند چاه‌هایی آلوده در بین چاه‌ها وجود داشت ولی میانگین غلظت نیترات چاه‌ها کمتر از بیشینه مجاز آلودگی بود. نمونه‌برداری تکمیلی از آلاینده‌های نیتروژن که به منظور اطمینان از نتایج آزمایش‌های شرکت آب و فاضلاب و شناسایی دقیق هاله آلودگی در محدوده شهر در آذرماه ۱۳۹۲ صورت گرفت، نشان داد به‌جز نوار باریکی در شمال و غرب حاشیه شهر بقیه نواحی شهر به نیترات آلوده شده است. در این نمونه‌برداری میانگین نیترات چاه‌ها ۷۴ میلی‌گرم در لیتر و ۷۰ درصد نمونه‌های برداشت شده به نیترات آلوده بود. اختلاط آب‌ها در محل ورودی جریان‌های آب زیرزمینی باعث رقیق شدگی هاله آلودگی در شمال و غرب حاشیه شهر شده است. با توجه به جهت جریان خروجی‌های آب‌زیرزمینی، احتمال پیشروی جبهه آلودگی به سمت دشت قم وجود دارد. غلظت آلاینده‌ها NH_4 و NO_2 در محدوده شهر کمتر از بیشینه مجاز بود. مقادیر کم یون‌های NH_4 و NO_2 به آن دلیل است که این آلاینده‌ها تحت فرایند نیترات‌زائی به نیترات تبدیل شده‌اند.

هرچند عمق سطح برخورد به آب زیرزمینی از عوامل اصلی آسیب‌پذیری در آبخوان‌های آبرفتی است ولی موقعیت هاله آلوده در شهر قم نشان داد که شدت آلودگی، رابطه‌ای با عمق برخورد به آب زیرزمینی ندارد و سایر عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری آبخوان از قبیل جنس رسوبات بخش غیر اشباع نقش تعیین کننده‌تری در آسیب پذیری آبخوان دارند. هر چند در طی یک دهه گذشته شبکه جمع آوری فاضلاب بخشی از فاضلاب خانگی در سطح شهر را جمع آوری نموده است ولی از آنجا که در طی این مدت حجم نیاز آبی شهر بیش از حجم فاضلاب جمع آوری شده افزایش یافته، در نتیجه حجم فاضلاب ورودی به آبخوان نسبت به گذشته افزایش یافته و بر شدت آلودگی آبخوان به نیترات در محدوده شهر افزوده شده است. از آنجا که آلودگی به نیترات به صورت گسترده در شهر وجود دارد ضروری است که پایش کیفی آبخوان ادامه یابد و مدل‌های ارزیابی پتانسیل آلودگی در محدوده شهر تهیه شود و با توجه به موارد مذکور شبکه جمع آوری فاضلاب در شهر توسعه یابد.

۶- قدردانی

از شرکت سهامی آب منطقه‌ای قم به‌دلیل حمایت مالی این تحقیق و از شرکت آب و فاضلاب استان قم به دلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات کیفیت چاه‌های آب شرب تشکر می‌شود.

References

Bowers, F. H., 2000, "Septic system and nitrate nitrogen as indicators of groundwater quality trends in New Jersey", Dept. of Environ. Protec., New Jersey.

Charbeneau, R. J., 2006, *Groundwater hydraluic and pollutant transport,* Waveland Press, Translated by Ataie Ashtiani, N., and Ketabchi, H., Sharif University of Tech. Pub., Tehran. (In Persian)

Cimenti, M., Biswas, N., Bewtra, J.K. & Hubberstey, A., 2005, "Evalution of microbial indicators for the determination of bacterial groundwater contamination sources", *Water, Air, and Soil Pollution*, 168, 157-169.

Cool, G., Rodriguez, M. J., Bouchard, C., Levallois, P. & Joerin, F., 2010, "Evaluation of the vulnerability to contamination of drinking water systems for rural regions in Que´bec", *Canada Journal of Environmental Planning and Management*, 53, 615-638.

Council of the European Union, 1998, *Council Directive 98/83/EC, on the Quality of Water Intended for human consumption*, EU.

Federal Provincial Territorial Committee on Drinking Water, 2014, *Guidelines for Canadian drinking water quality*, Canada.

Fetouani, S., Sbaa, M., Vanclooster, M. & Bendra, B., 2008, "Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa. (North-east Morocco)", *Agricultural Water Management*, 95(2), 133-142.

Fetter, C.W., 1999, *Contaminant hydrogeology*, 2nd Ed., Prentice Hall Inc.

Fetter, C.W., 2001, *Applied Hydrogeology*, 3rd Ed, Macmillan Pub., New York.

Freeze, R. A. & Cherry, J. A., 1979, *Groundwater*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Goulding, K., 2000, "Nitrate from arable and horticultural land", *Soil and Management*, 16, 145-151.

Helsel, D.R. & Hirsch, R. M., 2002, *Statistical methods in water resources techniques of water resources investigations*, Book 4, Chapter A3. U.S. Geological Survey, US Department of the Interior.

Hounslow, A.W., 1995, *Water quality data: Analysis and interpretation,* CRC Press.

Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 2010, Drinking water physical and chemical specification, ISIRI. 1053, 5th revision. (In Persian)

Jiang, Y. & Somers, G., 2009, "Modeling effects of nitrate from non-point sources on groundwater quality in an agricultural watershed in Prince Edward Island, Canada", *Hydrogeology Journal*, 17, 707-724.

Joerin, F., Cool, G., Rod riguez, M.J. & Gignac, M., 2010, "Using multi-criteria decision analysis to assess the vulnerability of drinking water utilities", *Environmental Monitoring and Assessment*, 166, 313-330.

Jukar Nyasar, V. & Atai Ashtiani, B., 2006, "Modeling and stud of nitrate in Tehran unsaturatd speciimen combining the mass balance approach and focus parameters", *Sharif Civil Engineering*, 33, 3-11. (In Persian)

Kalantari, N., Rahimi, M.H. & Matoori, F., 2011, "Chemical and biological assessment of water resources of Sia-Mansour area, Dezful", *Journal of Environmental Studies*, 37 (59), 29-42.

Kenney, D.R., 1989, "The orogin of groundwater nitrate", *Critcial Reviews in Environmental Science and Technology*, 16 (3), 257-304

Kholghi, M., 2012, *Workshop of mathematical models in groundwater management from theory to application*, Water Institute of Tehran University, Tehran. (In Persian)

Khosravi Dehkordi, A., Afyuni, M. & Mosavi, F., 2006, "Groundwater around Zayanderoud river in Isfahan province", *Journal of Environmental Studies*, 32 (39), 33-40. (In Persian)

Kumar, S.C. & Anderson, H.W., 1993, "Nitrogen isotopes as indicators of nitrate sources in Minnesota sand plane aquifers", *Groundwater*, 31, 260-271.

Latifi, M., Mousavi, S.F., Afyuni, M. & Velayati, S.A., 2005, "Investigation of nitrate pollution and sources in groundwater in Mashhad Plain", *Journal of Agriculture Sciences and Natural Resources*, 12 (2), 21-32. (In Persian)

Lerner, D.N. & Papatolios, K.T., 1993, "A simple analytical approach for predicting nitrates concentration in pumped groundwater", *Groundwater*, 31(3), 370-376.

Lu, Y., Tang, Ch., Chen, J. & Sakura, Y., 2007, "Impact of septic tank system on local groundwater and water supply in Pearl River Delta, China: Case study", *Hydrological Processes*, 22, 443-450.

Lui, Z. J., Hallberg, G.R., Zimmerman, D.L. & Libra, R.D., 1997, "Detecting changes in the spatial distribution of nitrate concentration in groundwater", *Journal of the American Water Resources Association*, 33(6), 1209-1218.

Maila, Y.N., El-Nahal, I. & Al-Agha, M.R., 2004, "Seasonal variation and mechanisms of groundwater nitrate pollution in the Gaza Strip", *Environment Geology*, 47, 84-90.

Majudar, D. & Gupta, N., 2000, "Nitrate pollution of groundwater and associated human health disprders, Indian", *Journal Environment Health*, 42, 28-39.

Nasseri, H. R. & Alijani, F., 2002, *Pollution sources of groundwater in Izeh Plain, North East of Khuzestan*, Seputy of Research and Technical Affairs, Khuzestan Water and Power Authority. (In Persian)

Nasseri, H. R., Keyhomayoun, Z. & Nakhaee, M., 2015, "Simulation of nitrate transport in groundwater: Lenjanat Plain, Isfahan", *Kharazmi Journal of Earth Sciences*, 1(1), 89-106. (In Persian)

Obeidat, M.M., Massadeh, A.M., Al-Ajlouni, A.M. & Athamneh, F.S., 2007, "Analysis and evaluation of nitrate levels in groundwater at Al-Hashimiya area", *Jordan. Environmental Monitoring and Assessment*, 135 (1-3), 475-486.

Pacheco, J. & Cabrera, A., 1997, "Groundwater contamination by nitrates in the Yucatan Peninsula Mexico", *Hydrology Journal*, 5(2), 47-53.

Paul, M., Wolf, K., Funda, K., Held, I., Winter, J., Eiswirth, M., Gallert, C. & Hotzl, H., 2004, "Microbiological condition of urban groundwater in the vicinity of leaky sewer systems", *Acta Hydrochemical Hydrobiology*, 32, 351-360.

Petakove, N.I. & Ivanove, A.V., 1970, "Investigation of certain psycho physiological reaction in children suffering from metheamglobinaemia", *Hyg. Sanit.*, 35, 29-32.

Qom Water and Wastewater Co., 2013, *Chemical analysis of drinking wells in Qom*, Qom Province Quality Lab., Qom.

Qom Water and Wastewater Co., 2013, *Operation statistics, duty and responsibilityes of technical engineering and development deputy ship*, Qom, Iran. (In Persian)

Shahsavandi, M., 2008, "The effect of urban sewage leakage on Qom drinking water wells", MSc Thesis, Dept. of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Behesthi University, Tehran. (In Persian)

Stamatis, G., Parpodis, K., Filintas, A. & Zagana, E., 2011, "Groundwater quality, nitrate pollution and irrigation environmental management in the Neogene sediments of an agricultural region in central Thessaly (Greece)", *Environmental Earth Sciences*, 64 (4), 1081-1105.

Tabatabaei, S. H., Khayat kholghi, M., Yarali, N. & Lalezari, R., 2009, "The effect of wastewater recharge on nitrate disturibution in shahrekord aquifer using MT3D Model", Reginal Water Company of Chaharmahal and Bakhtiyari Provinces, Shahrekord University, Shahrekord. Iran. (In Persian)

Todd, D.K. & Mays L.W., 2005, *Groundwater hydrology*, 3nd Ed., John Wiley and Sons Pub., N.Y.

U.S. EPA., 1993, *Wellhead protection: A guide for small communities*, Office of Research and Development Office of Water, Washington, DC, (EPA/625/R-93/002).

USEPA, 2009, *Water standards and health advisories table*, USA.

World Health Organization (WHO), 2011, *Guidelines for drinking-water quality*, 4th Ed., WHO, USA.

Zhang, H. & Hiscock, K.M., 2011, "Modelling the effect of forest cover in mitigating nitrate contamination of groundwater: A case study of the Sherwood Sandstone aquifer in the East Midlands", *Journal of Hydrology*, 34, 125-135.

Zheng, B. H., Fu, Q. & Liu, Y., 2007, "Environmental problems and solutions for public drinking water sources in china", *Environmental Protection (Chinese),* 381(19), 59-61.