

توانایی چاه‌های فلمن در بهبود پارامترهای فیزیکی و میکروبی آب رودخانه

مجتبی قره محمودلو^(۱)، مصطفی سید^(۲)، سید مصطفی خضری^(۳)، کمال خدایی^(۴) و سید محمد سید خادمی^(۵)

۱. استادیار دانشگاه گنبدکاووس، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه آب‌خیزداری

۲. مربی دانشگاه جامع علمی کاربردی مرکز آموزشی گنبدکاووس ۱

۳. دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده محیط‌زیست و انرژی، گروه محیط‌زیست

۴. استادیار پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی، گروه زمین‌شناسی محیطی

۵. دانشجوی دکتری دانشگاه دویسبورگ اسن آلمان، دانشکده شیمی، دپارتمان شیمی تجزیه دستگاهی آب

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۹

چکیده

فیلتراسیون کف رودخانه می‌تواند به‌عنوان یک روش ارزان و موثر در تصفیه آب رودخانه‌ها برای مصارف شرب مورد استفاده قرار گیرد. در زمین‌های آب‌رفتی متشکل از رسوبات سست و منفصل، شامل شن و ماسه و یا قلوه سنگ با سطح آب نزدیک به سطح زمین، یکی از اقتصادی‌ترین روش‌های استحصال آب در حجم زیاد، استفاده از چاه‌های دهان گشاد نظیر فلمن می‌باشد. در این تحقیق به بررسی تاثیر چاه‌های فلمن و فرآیند فیلتراسیون آب‌رقت کف رودخانه در بهبود پارامترهای کیفی آب‌های سطحی برای مصرف در بخش شرب پرداخته شده است. از این‌رو، به‌طور هم‌زمان از آب رودخانه دوغ و چاه فلمن در یک دوره پنج ماهه نمونه‌برداری شده است. برای تعیین تفاوت معنی‌دار داده‌های حاصل از آنالیز کیفی، از نرم‌افزار SPSS و آزمون t استفاده شد. مقایسه پارامترهای کیفی رودخانه دوغ و چاه فلمن نشان داد که فیلتراسیون بستر رودخانه می‌تواند نقش مهمی در کاهش بیشتر پارامترهای فیزیکی و میکروبی آب در چاه فلمن حفر شده در مجاورت یک رودخانه داشته باشد. این تحقیق همچنین به بررسی کیفیت آب رودخانه دوغ و چاه فلمن با استفاده از شاخص جهانی NSFQI برای مصرف شرب پرداخته است. این شاخص برای آب رودخانه دوغ از ۵۰ تا ۵۷ متغیر است که این عدد نشان‌دهنده کیفیت متوسط آب رودخانه دوغ می‌باشد. در حالی‌که این شاخص برای چاه فلمن بین ۶۴ تا ۷۵ می‌باشد که بیانگر کیفیت خوب آب در چاه فلمن است. نتایج این تحقیق نشان داد چاه‌های فلمن حفر شده در مجاورت بستر رودخانه می‌توانند نقش مهمی در بهبود پارامترهای کیفی آب‌های سطحی برای مصرف شرب داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: رودخانه، چاه فلمن، پارامترهای کیفی آب، شاخص WQI.

مقدمه

آلودگی آب‌های سطحی توسط آلاینده‌های شیمیایی، فیزیکی و میکروبی مشکلی فراگیر در اکثر کشورهای جهان است. عمده منابع آلودگی آب‌های سطحی به‌ویژه رودخانه‌ها، منابع نقطه‌ای مانند: زهکش‌های کشاورزی، پساب‌های شهری و صنعتی و منابع گسترده مانند: زهاب‌های کشاورزی می‌باشد. با توجه به اهمیت آب و اثراتی که آلودگی آب می‌تواند بر سلامتی انسان و اکوسیستم طبیعی داشته باشد، پایش کیفیت آب از اهمیت بسزایی برخوردار است (نوری، ۱۳۸۶).

رودخانه‌ها و آب‌های سطحی از دیرباز مورد نیاز و مورد توجه جوامع بشری بوده‌اند و برای بهره‌بردن از منابع آب، شهرها و مراکز صنعتی و کشاورزی معمولاً در نزدیکی رودخانه‌ها برپا شده‌اند. رودخانه‌ها با آبخوان‌ها در تماس بوده و از نظر کمی و کیفی بر هم اثرگذار هستند. سطح تماس آب زیرزمینی و آب سطحی بخشی از آبخوان است که از نظر هیدرولیکی، هیدروشیمیایی و میکروبی نسبتاً پیچیده بوده و بررسی آن از دیدگاه انتقال آلودگی و ارزیابی خطرات اکولوژیکی بسیار حائز اهمیت است (USEPA, 2000; Medina et al., 2002; Smith, 2005). مطالعات زیادی نشان داده است که هاله‌های آلودگی وقتی که به سطح تبادل آب زیرزمینی و سطحی می‌رسند تغییرات قابل توجهی را چه به لحاظ توزیع، میزان جریان و ماهیت آلودگی تجربه می‌کنند (Lendvay et al., 1998; Conant et al., 2007; Chapman et al., 2004). به‌علاوه در مرز تبادل آب سطحی و زیرزمینی چندین فرآیند بیوژئوشیمیایی مانند نیترات زایی^۱ و نیترات زدایی^۲ (Capone and Bautista, 1985; Doussan et al., 1997; Holloway and Dahlgren, 2001; Grimaldi et al., 2004) و انحلال کانی‌ها همراه با کاهش میکروبی و کربن آلی (Von gunten et al., 1991; Bourg and Bertin, 1993) گزارش شده است که می‌توانند میزان و انتقال آلودگی را تحت تاثیر قرار بدهند. معمولاً در ابتدای ورود رودخانه‌ها به دشت، آب رودخانه‌ها به داخل زمین نفوذ نموده و پس از عبور از لایه‌های زیرسطحی متشکل از شن و ماسه، در نهایت

آبخوان را تغذیه می‌کنند. در طول نفوذ، غلظت آلاینده‌های موجود در آب رودخانه در نتیجه فیلتراسیون رسوبات، نوع و ماهیت آلاینده‌ها و یا در نتیجه برخی از فرآیندها حاکم در محیط متخلخل کاهش می‌یابد. از این رو کیفیت آب نفوذی در لایه‌های زیرسطحی در مقایسه با کیفیت آب رودخانه قبل از نفوذ به مراتب بهتر می‌شود (Ray et al., 2003). استخراج آب زیرزمینی فیلتر شده توسط رسوبات بستر رودخانه از چاه‌های مجاور رودخانه‌ها یکی از روش‌های معمول تامین آب در مناطق روستایی بسیاری از کشورهای اروپایی (Hiscock and Grischek, 2002)، آمریکا و هند (Sandhu et al., 2011; Pani 2011) با هدف کاهش مواد معلق، عوامل بیماری‌زا و میکروارگانیسم‌های آب رودخانه است (Ghosh et al., 2014; Schmidt et al., 2003; Sharma and Amy, 2009).

یکی از روش‌های برداشت آب با حجم زیاد از یک لایه آبرفتی با ضخامت کم، استفاده از چاه فلمن می‌باشد. چاه فلمن در نزدیکی رودخانه‌ها و در زمین‌هایی که مصالحی با نفوذپذیری مناسب را دارا می‌باشند حفر می‌شوند. چاه اصلی یک لوله قطور از جنس بتن می‌باشد که در انتهای آن لوله‌های دیگری با قطر کمتر و به‌صورت شعاعی و در جهات گوناگون قرار دارند و باعث جمع‌آوری آب به داخل چاه اصلی می‌شوند (شکل ۱). این آب در نهایت با پمپاژ به سطح آورده شده و مورد مصرف شرب قرار می‌گیرد (عابدی کوپائی و همکاران، ۱۳۸۵). با توجه به بهبود کیفیت فیزیکی آب برداشتی چاه‌های فلمن، هزینه تصفیه آب‌های سطحی توسط آنها از نظر حذف کدورت و مواد معلق آب در مقایسه با روش‌های دیگر، کاهش چشمگیری دارد. طول عمر زیاد، آبدهی بالا معادل تا ۱۵ حلقه چاه عمیق، شعاع حریم کمی و بهره‌برداری آسان و از همه مهم‌تر قابل اجرا بودن در زمین‌های آبرفتی با ضخامت کم از مزایای استفاده از این نوع چاه‌ها می‌باشد (سید و همکاران، ۱۳۹۱). اگرچه کیفیت آب در این نوع چاه‌ها برای مصارف مختلف باید در حد مجاز استانداردهای موجود در آن منطقه باشد.

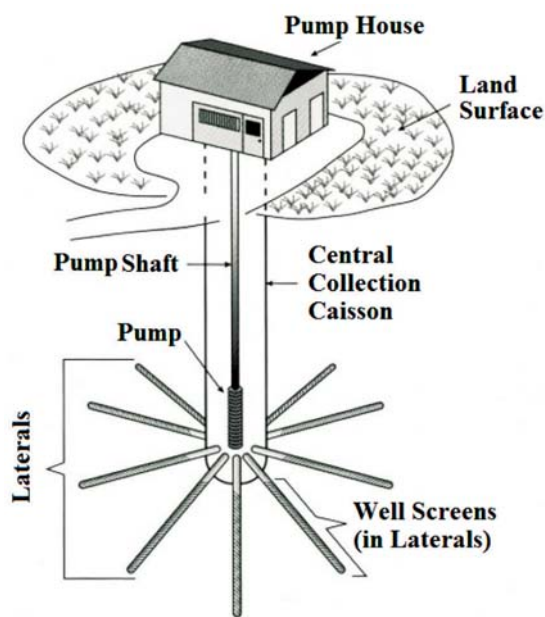
1. Nitrification
2. Denitrification

منطقه می‌باشد.

نصری (۱۳۸۷) در تحقیقی تحت عنوان بررسی امکان آلودگی آب رودخانه زاینده‌رود و برخی از چاه‌های فلمن به حشره‌کش دیازینون (Diazinon) نشان داد که آب رودخانه زاینده‌رود و نیز پساب‌های ورودی به آن، به دیازینون آلودگی ندارند. در ابتدای فصل پاییز، غلظت دیازینون در آب چاه‌های فلمن در حدود ۱/۲۳ نانوگرم در لیتر بوده که این مقدار کمتر از مقادیر استانداردهای موجود برای این آفت‌کش جهت مصارف آبی گوناگون می‌باشد. به نظر می‌رسد قرار گرفتن این چاه در مجاورت زمین‌های زیر کشت و رسوبات شنی به همراه حلالیت نسبتاً بالای دیازینون در آب، از عوامل مهم نفوذ این سم از مزارع و یا رودخانه به آب‌های زیرزمینی منطقه می‌باشد. وجود این سم در نمونه‌های آب شرب هشداردهنده بوده است. بنابراین جلوگیری از مصرف بی‌رویه آفت‌کش‌ها به منظور حفاظت هرچه بیشتر از محیط‌زیست، کاهش هزینه تصفیه آب‌های آشامیدنی و سلامت عمومی جامعه توجه بیشتری را می‌طلبد.

بررسی کیفیت آب چاه‌های فلمن گامی مهم در جهت استفاده بهینه و مناسب از این منابع آبی جهت مصارف مختلف نظیر شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشد. از این رو ضرورت مطالعه ویژگی‌های کیفی آب چاه‌ها در برنامه‌های مدیریت منابع آب به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق ابتدا تغییرات کیفیت آب رودخانه و سپس چاه فلمن در یک دوره زمانی معین مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج آزمایش‌ها با استانداردهای موجود (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران^۱ و سازمان بهداشت جهانی^۲) مقایسه شده است. سپس با مقایسه معیارهای کیفی آب رودخانه و چاه، توانایی چاه‌های فلمن به همراه فیلتراسیون کف رودخانه در بهبود پارامترهای کیفی آب مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت پیشنهادها و راهکارهای عملی در جهت ارتقای سطح کیفی آب برداشتی چاه‌های ارائه شده است.

خسروی دهکردی و همکاران (۱۳۸۵) با نمونه‌برداری از آب حدود ۱۰۰ حلقه چاه از باغ بهادران تا ورزنه اصفهان در مدت یک سال و بررسی غلظت نیترات این آب‌ها به این نتیجه رسیدند که غلظت نیترات با زمان در حال افزایش بوده و فعالیت‌های کشاورزی مهم‌ترین عامل آلودگی به نیترات آب‌های زیرزمینی حاشیه زاینده‌رود است. در این تحقیق همچنین مشخص شده است که غلظت نیتروژن نیتراتی در آب چاه فلمن شماره ۱۰ واقع در درجه بیشتر از حد استاندارد بوده است.



شکل ۱. شمایی از چاه فلمن (Ray et al., 2003)

عابدی کوپائی و همکاران (۱۳۸۴) تحقیقی با موضوع بررسی کیفیت شیمیایی آب چاه‌های آب شرب فلمن در اصفهان انجام داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که کیفیت شیمیایی آب چاه‌های مورد مطالعه، قبل از تصفیه در ماه‌های مختلف متغیر بوده است. مقادیر بعضی از فاکتورهای کیفی در حد مجاز و بعضی دیگر بیشتر از حداکثر مجاز می‌باشند. غلظت نیتروژن نیتراتی ($N-NO_3$) در مهرماه برابر ۲۳/۸۷ میلی‌گرم در لیتر به‌دست‌آمده که تقریباً ۲/۴ برابر حد استاندارد ۱۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. قرار گرفتن این چاه‌ها در مجاورت زمین‌های زیر کشت برنج و رسوبات شنی، عامل مهم نفوذ نیترات به آب‌های زیرزمینی

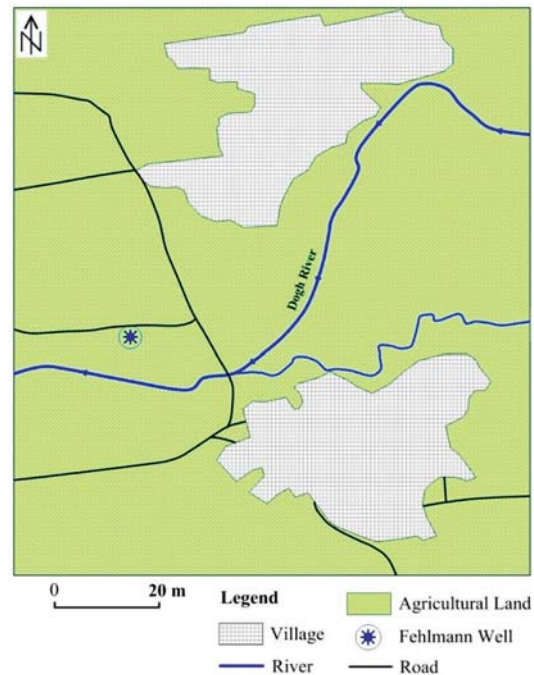
1. Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI)

2. World Health Organization (WHO)

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

شهرستان گنبدکاووس، دومین شهر مهم استان گلستان با جمعیتی در حدود ۳۰۰۰۰۰ نفر و میانگین بارش سالانه ۵۰۰ میلی‌متر است و ارتفاع آن از سطح دریا ۵۲ متر می‌باشد (سید و همکاران، ۱۳۹۱). آب آشامیدنی شهر گنبدکاووس از منابع آب‌های زیرزمینی (۲۴ حلقه چاه عمیق) و دو حلقه چاه فلمن، پس از کلر زنی در مخازن ذخیره و به صورت پمپاژ وارد شبکه توزیع می‌شود. با توجه به افزایش میزان مصرف آب در فصل تابستان، چاه‌های فلمن در رفع کمبود آب مصرفی بسیار مهم هستند. چاه‌های فلمن شهرستان گنبدکاووس در شرق استان گلستان و جنوب شرق شهر کلاله در مجاورت رودخانه دوغ (یکی از رودهای تغذیه‌کننده گرگان رود) و در مجاورت دو روستای این و قره خوجه در سال ۱۳۸۳ حفر شده‌اند (شکل ۲). این چاه‌ها با عمق تقریبی ۲۰ متر، قطر داخلی سه متر و تعداد ۱۲ عدد گالری شعاعی (طول تقریبی ۳۰ متر) حفر شده‌اند و توانایی تولید آب تا حدود ۱۰۰ لیتر در ثانیه را دارند. این چاه‌ها در لایه آبرفتی کنار رودخانه با ضخامت نسبتاً کم و نفوذپذیری بالا حفر شده‌اند که دارای دامنه وسیعی از رسوبات شامل ماسه، شن و تخته‌سنگ و درصد کمی از رسوبات دانه‌ریز هستند.



شکل ۲. موقعیت چاه فلمن و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

شاخص NSFQI

یکی از شاخص‌های مورد استفاده در بررسی کیفی منابع آب (خصوصاً آب‌های سطحی) شاخص کیفی آب NSFQI می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Terrado et al., 2010):

$$NSFWQI : \sum_{i=1}^n W_i Q_i$$

در این رابطه W_i عامل وزن پارامتر و Q_i کیفیت پارامتر، n تعداد پارامترها ($n=9$) می‌باشد.

برای منظور کردن میزان اثر هر پارامتر و یا زیر شاخص مربوط به آن، به هریک از پارامترها یک وزن و یا ارزش عددی نسبت داده شده است (جدول ۱). بیشترین وزن مربوط به غلظت اکسیژن محلول (DO) و کمترین وزن مربوط به کل مواد جامد (مجموع کل جامدات محلول و کل جامدات معلق) می‌باشد. شاخص NSFQI دارای مقاداری بین صفر تا ۱۰۰ می‌باشد که براساس جدول ۲ کیفیت آب را به وضعیت‌های عالی، خوب، متوسط، بد و خیلی بد تقسیم‌بندی می‌کند. در این مطالعه برای محاسبه شاخص NSFQI از نرم‌افزار آنلاین Calculator NSFQI استفاده شده است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴).

جدول ۱. فاکتورهای مورد استفاده در شاخص NSFQI (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴)

وزن پارامتر در شاخص NSFQI	پارامترهای کیفی
.۱۷	اکسیژن محلول
.۱۶	کلیفرم مدفونی
.۱۱	pH
.۱۱	BOD
.۱۰	نیترات
.۱۰	فسفات
.۱۰	دما
.۰۸	کدورت
.۰۷	کل مواد جامد

است. برای نمونه‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی به ترتیب حجم ۱/۵ لیتر و ۲۵۰ میلی لیتر آب در ظروف پلاستیکی عاری از هرگونه آلودگی (فیزیکی و شیمیایی) و یا بطری‌های شیشه‌ای تیره استریل درب سنباده‌ای استفاده شده است. برخی از پارامترهای فیزیکی نمونه‌ها نظیر دما، بلافاصله در محل و در زمان نمونه‌برداری قرائت شده و سپس نمونه‌ها در یخدان تحت دمای بین ۰ تا ۴ درجه سانتی‌گراد ذخیره و سریعاً به آزمایشگاه جهت اندازه‌گیری دیگر اختصاصات فیزیکی (شامل: کدورت، رنگ، pH)، شیمیایی (شامل: آهن، منگنز، نیتريت، نترات، آمونیاک، فسفات، فلوراید، COD^۱ و BOD^۲) و میکروبی (آب از نظر حضور کلیفرم‌ها (آزمون MPN/100ml) ارسال شدند (جدول ۳ و ۴). در نهایت با استفاده از روش‌های هیدروشیمیایی، کیفی (روش‌های NSFQWI) و آماری (آزمون t با ۹۵ درصد اطمینان) کیفیت آب رودخانه دوغ و چاه فلمن مورد مطالعه قرار گرفت.

جدول ۲. مقادیر و توصیف شاخص‌های کیفی استفاده شده (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴)

توصیف	شاخص محدوده
بسیار بد	۰-۲۵
بد	۲۶-۵۰
متوسط	۵۱-۷۰
خوب	۷۱-۹۰
عالی	۹۱-۱۰۰

روش کار

باتوجه به اینکه چاه‌های فلمن واقع در منطقه مورد نظر به فاصله کمی از یکدیگر قرار دارند، یکی از این چاه‌ها برای نمونه‌برداری انتخاب شد. نمونه‌برداری از آب رودخانه دوغ و چاه فلمن با رعایت روش‌های استاندارد نمونه‌برداری صورت گرفته است. به‌طور همزمان تعداد ۱۰ نمونه از آب رودخانه دوغ و ۱۰ نمونه از چاه فلمن در مدت پنج ماه برداشت شده

جدول ۳. نتایج آزمایش‌ها پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب رودخانه دوغ

(پارامتر/ شماره نمونه)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
دما (°C)	۲۰	۲۳	۱۷	۱۲	۱۰	۱۱	۱۰	۱۰	۱۲	۹
کدورت (NTU)	۳۰/۵	۸/۴۹	۱۰/۲	۳۹/۱	۲۸/۷	۱۸/۵	۲۳/۸	۲۷	۲۰/۳	۳۲/۹
رنگ (pt.co)	۲	۱	۲	۴	۲۲	۱	۲	۲	۱	۳
pH (-)	۷/۸۵	۷/۷۸	۷/۷	۷/۷۵	۷/۷۲	۷/۷	۷/۷۵	۷/۷۲	۷/۷	۷/۸۳
نیتريت (mg/L)	۰/۰۲۶	۰/۰۲۳	۰/۰۲۶	۰/۰۲۳	۰/۰۲۶	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۶	۰/۰۳۳	۰/۰۲۳
نترات (mg/L)	۲۴/۹۶	۲۲/۸۸	۲۷/۲۷	۲۳/۷۶	۲۵/۰۸	۲۶/۴	۲۵/۵۲	۲۳/۳۲	۲۵/۰۸	۲۰/۲۴
آمونیاک (mg/L)	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۳
فسفات (mg/L)	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۶
فلوراید (mg/L)	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۱۸
آهن (mg/L)	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳
منگنز (mg/L)	۰/۰۴۳	۰/۰۳۷	۰/۰۴۹	۰/۰۳۵	۰/۰۵	۰/۰۳۲	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸	۰/۰۲۹	۰/۰۳۲
COD (mg/L)	۳۴	۲۸	۳۲	۳۶	۳۲	۲۹	۳۱	۲۸	۲۶	۳۰
BOD (mg/L)	۲/۸	۲/۵	۲/۷	۲/۵	۲/۴	۲/۲	۲/۵	۲/۳	۲/۶	۲/۲
MPN ^۳ /100ml	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۲۴۰	۲۹۰	۱۵۰	۲۴۰	۴۶۰	۲۴۰

جدول ۴. نتایج آزمایش‌های پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب چاه فلمن.

(پارامتر/ شماره نمونه)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
دما (°C)	۱۹	۲۰	۱۹	۱۵	۱۳	۱۴	۱۲	۱۲	۱۴	۱۲
کدورت (NTU)	۰/۶۶	۰/۲۳	۰/۳۹	۰/۷۳	۰/۶۵	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۵۳	۰/۶۷
رنگ (pt.co)	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱
pH (-)	۷/۵۲	۷/۴۳	۷/۴	۷/۴۶	۷/۳۸	۷/۴۲	۷/۴	۷/۳۹	۷/۴۱	۷/۴۸

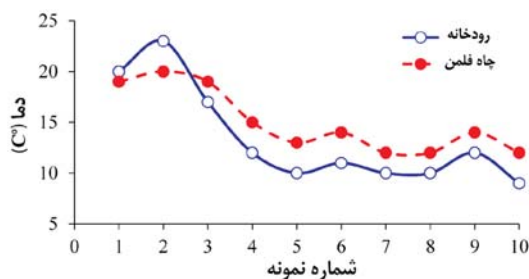
1. Chemical Oxygen Demand
2. Biochemical Oxygen Demand
3. Most Probable Number

ادامه جدول ۴.

پارامتر/ شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نیتريت (mg/L)	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۱۶
نترات (mg/L)	۱۷/۶	۱۶/۲۸	۲۱/۵۶	۱۹/۸۲	۲۰/۲۴	۲۱/۱۲	۲۱/۱۲	۲۰/۲۴	۲۰/۶۸	۱۵/۴
آمونیاک (mg/L)	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱
فسفات (mg/L)	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱
فلوراید (mg/L)	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۲	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲	۰/۲۲
آهن (mg/L)	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳
منگنز (mg/L)	۰/۰۳۸	۰/۰۳۲	۰/۰۴۳	۰/۰۳۲	۰/۰۴۵	۰/۰۲۸	۰/۰۲۱	۰/۰۲۵	۰/۰۳۲	۰/۰۳۹
COD (mg/L)	۲۲	۱۸	۲۱	۲۴	۲۲	۲۰	۲۲	۱۹	۱۸	۲۰
BOD (mg/L)	۱/۹	۱/۵	۱/۸	۲	۱/۸	۱/۶	۱/۸	۱/۷	۱/۵	۱/۶
MPN/100ml	۲۳	۱۵	۴۳	۱۵	۰	۴	۰	۴	۹	۰

بحث

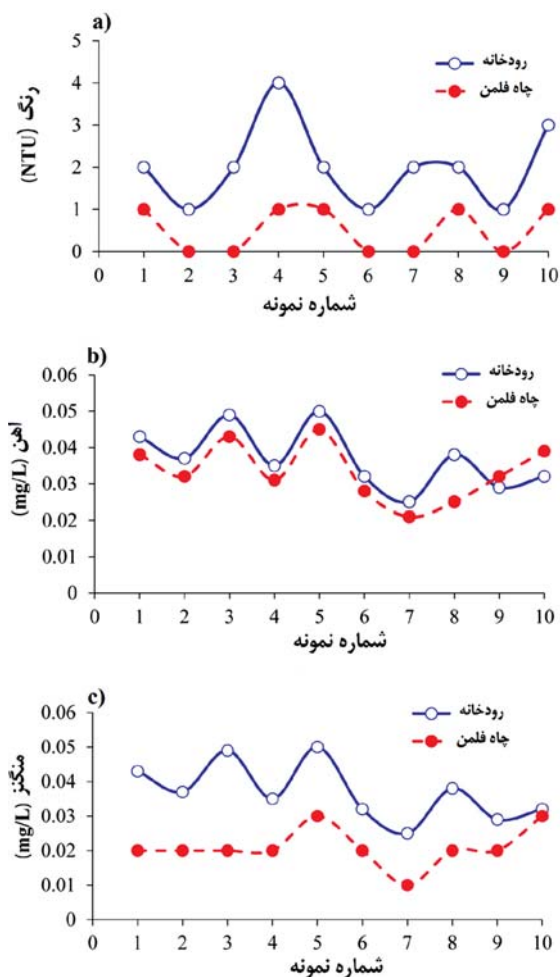
دما، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و همچنین فعالیت‌های بیولوژیکی ارگانیزم‌های گیاهی و جانوری آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین اندازه‌گیری آن بسیار مهم است (علی‌زاده، ۱۳۸۲). در رودخانه‌ها و دریاچه‌های کم‌عمق، دمای آب تابع درجه حرارت محیط است (حد مجازی برای دما تعیین نشده). محدوده تغییرات دما در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن به ترتیب ۹-۲۳ و ۱۲-۲۰ درجه سانتی‌گراد با میانگین $13 \pm 4/86$ و $15 \pm 3/16$ درجه سانتی‌گراد و تفاوت معنی‌دار نبوده است. تغییرات دمایی آب چاه‌های فلمن نسبت به دمای آب رودخانه دوغ تغییر نسبتاً جزئی دارد (شکل ۳). با توجه به اینکه چاه‌های فلمن جزء چاه‌های دهان‌گشاد می‌باشند، انتظار می‌رود که تبدلات دمایی آنها با محیط سریع‌تر از چاه‌های معمولی صورت گیرد، که با نتایج عابدی کوپائی و همکاران (۱۳۸۵) مطابقت دارد. به‌طور کلی در آب‌های زیرزمینی دما به نسبت یکسان و به‌آسانی نیز قابل پیشگویی می‌باشد چرا که نزدیک به دمای میانگین فصلی یا سالانه می‌باشد و در رودخانه‌ها و دریاچه‌های کم‌عمق درجه حرارت آب تابع درجه حرارت محیط است.



شکل ۳. منحنی تغییرات دمایی آب رودخانه دوغ و چاه فلمن در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۰

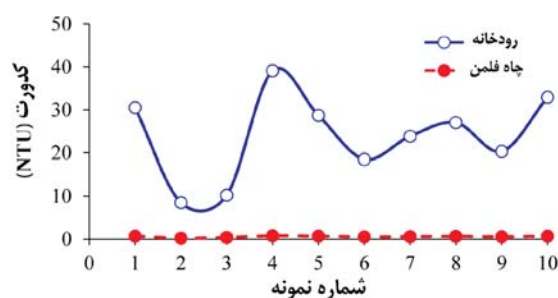
کدورت پدیده‌ای است که میزان شفافیت آب را مشخص می‌کند و به‌عنوان یک خاصیت ظاهری آب محسوب می‌شود. اندازه‌گیری کدورت اغلب برای نشان دادن پیشرفت عمل در تصفیه آب به کار می‌رود. میزان کدورت در آب رودخانه دوغ با میانگین $24/05 \pm 9/83$ نفلومتر بالاتر از حد مجاز بوده

آنها بین ذرات در طول نفوذ آب از بستر رودخانه تا چاه فلمن از مهم‌ترین عوامل کاهش میزان غلظت این دو یون در آب چاه می‌باشد. اگرچه میزان جذب برای منگنز به مراتب بیشتر از آهن می‌باشد.



شکل ۵. تغییرات میزان رنگ (a) و یون‌های آهن (b) و منگنز (c) در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۰

pH یکی از مهم‌ترین خواص فیزیکوشیمیایی آب می‌باشد زیرا که بیشتر روش‌های تصفیه آب به pH آن بستگی دارد. pH آب آلوده نشده اساساً رابطه بین دی‌اکسید کربن آزاد (CO_2) و مقدار کربنات و بیکربنات را نشان می‌دهد. آب‌های طبیعی معمولاً دارای pH بین ۴ تا ۹ می‌باشند. محدوده تغییرات pH در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن به ترتیب با میانگین $7/75 \pm 0/05$ و $7/43 \pm 0/04$ می‌باشد. میزان pH در آب چاه فلمن کمتر از آب رودخانه دوغ و در حد



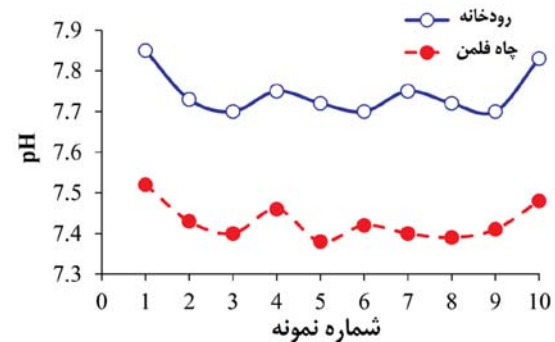
شکل ۴. منحنی تغییرات کدورت آب رودخانه دوغ و چاه فلمن در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۰

اصطلاح رنگ در واقع به رنگ باقیمانده در آب پس از حذف کدورت اطلاق می‌شود. رنگ آب به‌طور کلی به علت حضور یون‌های فلزی (آهن و منگنز)، مواد آلی (جلبک‌ها) و اجزاء خاک (کانی‌های رسی) می‌باشد (چالکش امیری، ۱۳۸۸). محدوده تغییرات رنگ در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن به ترتیب ۱-۴ و ۰-۱ پلاتین-کبالت است. نتایج آنالیز فیزیکی نمونه‌های آب نشان داد که میزان رنگ در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن در حد مجاز بوده است (حد مجاز: ۲۰ پلاتین-کبالت). میزان رنگ در آب چاه فلمن بسیار کمتر از آب رودخانه دوغ بوده به‌طوری‌که مقدار آن در چاه فلمن در حدود ۷۵ درصد کاهش داشته است (شکل ۵). علت آن می‌تواند به دلیل کاهش کدورت باشد چرا که رنگ و کدورت بیشترین میزان همبستگی را با هم دارند.

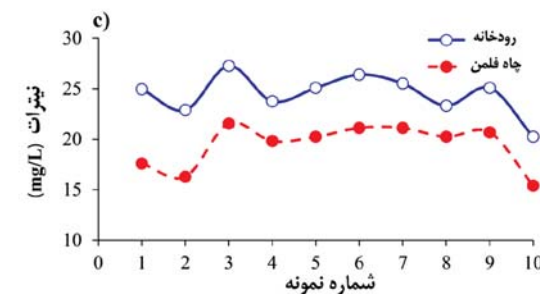
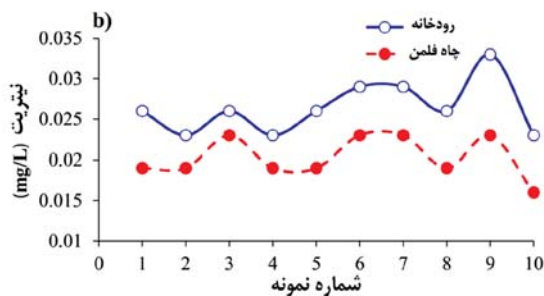
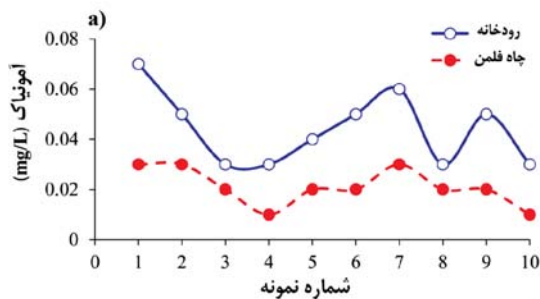
به‌منظور درک بهتر از دو عوامل تاثیر گذار در تغییر رنگ منابع آبی مورد مطالعه، تغییرات میزان یون‌های آهن و منگنز در رودخانه دوغ و چاه فلمن مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵). براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده، محدوده تغییرات یون آهن در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن به ترتیب $0/02-0/04$ و $0/01-0/03$ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و تفاوت آنها معنی‌دار بوده است. نتایج نشان داد که، میزان آهن در هر دو منبع آبی (آب رودخانه دوغ و چاه فلمن) در حد مجاز بوده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، مقدار آن در چاه فلمن در حدود ۳۳ درصد کاهش داشته است. اگرچه میزان منگنز در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن در حد مجاز بوده اما مقدار آن در چاه نسبت به آهن کاهش چشمگیری داشته است. فرآیند جذب این دو یون به سطح ذرات تشکیل‌دهنده بستر رودخانه و همچنین رسوب‌گذاری

مجاز (۹-۶/۵) بوده و تفاوت معنی‌دار داشته است. میزان این پارامتر در چاه فلمن در حدود ۴ درصد کاهش داشته است (شکل ۶). تغییرات فشار و به‌احتمال فراواند های بیوشیمیایی می‌تواند از عوامل کاهش جزئی این پارامتر در آب چاه فلمن باشد. علاوه بر این، کاهش دما در چاه فلمن می‌تواند باعث انحلال بیشتر گاز دی‌اکسید کربن و در نتیجه کاهش pH شود.

میزان این پارامتر در چاه فلمن در حدود ۴ درصد کاهش داشته است (شکل ۶). تغییرات فشار و به‌احتمال فراواند های بیوشیمیایی می‌تواند از عوامل کاهش جزئی این پارامتر در آب چاه فلمن باشد. علاوه بر این، کاهش دما در چاه فلمن می‌تواند باعث انحلال بیشتر گاز دی‌اکسید کربن و در نتیجه کاهش pH شود.



شکل ۶. تغییرات pH آب رودخانه دوغ و چاه فلمن در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۰



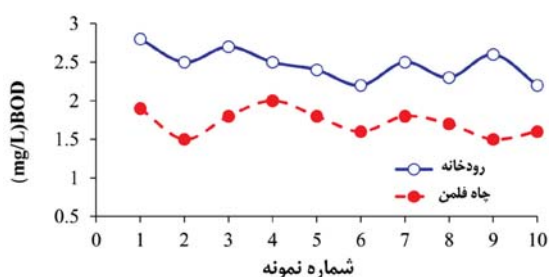
شکل ۷. منحنی تغییرات آمونیاک (a)، نیتريت (b) و نیترات (c) آب رودخانه دوغ و چاه فلمن در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۰

محدوده تغییرات نیتريت در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن به ترتیب با میانگین 0.03 ± 0.03 و 0.02 ± 0.02 میلی‌گرم در لیتر است. همان‌طور که انتظار می‌رفت،

آمونیاک با منشأ معدنی به‌ندرت در آب‌های طبیعی یافت می‌شود. مهم‌ترین منبع آمونیاک آب‌ها، آمونیاک ناشی از تجزیه مواد آلی طی فرآیند آمونیفیکاسیون^۱ است. علاوه بر این فاضلاب‌های شهری و کشاورزی حاوی مقدار زیادی مواد نیتروژنی هستند که تجزیه آنها منجر به افزایش آمونیاک منابع آبی می‌شود. وجود آمونیاک در آب می‌تواند بیانگر آلودگی آب به مواد آلی باشد. بررسی میزان تغییرات غلظت آمونیاک در منابع آبی مورد مطالعه نشان داد که محدوده تغییرات آمونیاک در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن به ترتیب با میانگین 0.04 ± 0.01 و 0.02 ± 0.01 میلی‌گرم در لیتر و این تفاوت معنی‌دار بوده است. میزان آمونیاک در هر دو منبع آبی در حد مجاز یعنی کمتر از $1/5$ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. نتایج مطالعه آمونیاک در این دو منبع آبی بیانگر کاهش حدوداً ۵۰ درصدی این پارامتر در چاه فلمن دارد که نشان از نقش بالای فیلتراسیون ناشی از چاه فلمن در حذف آمونیاک از آب رودخانه دارد (شکل ۷-a). لازم به‌ذکر است که افزایش روزافزون این آلاینده در دیگر منابع آبی استان (چاه‌های آب شرب) به‌عنوان یکی از نگرانی‌های شرکت آب

1. Ammonification

(شکل ۸). علیرغم تحقیق عابدی کوپائی و همکاران (۱۳۸۵) بر روی چاه‌های فلمن اصفهان که میزان BOD بالاتر از حد مجاز و آلودگی شدید ناشی از فعالیت‌های کشاورزی گزارش شده، در این تحقیق آلودگی BOD بسیار کمتر و در درجه خوب بوده است. کاهش مواد آلی موجود در آب چاه فلمن در اثر فیلتراسیون بستر رودخانه دوغ و در نتیجه آن کاهش نیاز اکسیژن محلول در آب برای تجزیه مواد آلی باعث کاهش میزان BOD در آب چاه فلمن و بهبود کیفیت آب شده است.



شکل ۸. منحنی تغییرات BOD آب رودخانه دوغ و چاه فلمن در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۰

اصولاً آبی که به مصرف آشامیدن می‌رسد باید از میکرواورگانیزم‌های بیماری‌زای شناخته شده و همچنین باکتری‌های نشانگر که نشانه آلودگی آب با مدفوع است عاری باشد. کلیفرم‌ها مهم‌ترین باکتری‌های نشانگر هستند که در آزمایش باکتریولوژیکی آنها مورد توجه قرار می‌گیرند. گرچه این باکتری‌ها غیر از مدفوع در منابع دیگر نظیر آب و خاک نیز ممکن است یافت شوند ولی فراوانی آنها در مدفوع انسان و سایر حیوانات خونگرم و دارا بودن ویژگی‌های دیگر است که باعث شده است این باکتری‌ها در آزمایش‌های مستمر آب‌های آشامیدنی از اهمیت خاصی برخوردار باشند. محدوده تغییرات باکتری‌های کلیفرم (MPN) در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن به ترتیب با میانگین 436 ± 602 و 11 ± 14 باکتری و تفاوت معنی‌دار بوده است. میزان MPN در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن بالاتر از حد مجاز (آب آشامیدنی باید فاقد کلیفرم باشد) بوده اما مقدار آن در چاه فلمن در حدود ۹۸ درصد کاهش داشته است (شکل ۹).

میزان نیتريت در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن در حد مجاز (۳ میلی‌گرم در لیتر) بوده اما مقدار آن در چاه فلمن حدود ۳۳ درصد کاهش داشته است (شکل ۷-b). محدوده تغییرات نیتريت در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن به ترتیب با میانگین $24/5 \pm 2/07$ و $19/41 \pm 2/18$ میلی‌گرم در لیتر و تفاوت معنی‌دار بوده است. میزان نیتريت در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن در حد مجاز (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) بوده اما مقدار آن در چاه فلمن حدود ۲۱ درصد کاهش داشته است که این میزان کمتر از درصد کاهش نیتريت در چاه فلمن می‌باشد (شکل ۷-c).

علیرغم تحقیق عابدی کوپائی و همکاران (۱۳۸۵) و خسروی دهکردی و همکاران (۱۳۸۵) که به ترتیب بر روی چاه‌های فلمن اصفهان، چاه‌های واقع در شمال غرب استان اصفهان و چاه‌های آب باغ بهادران تا ورزنه اصفهان انجام داده‌اند که میزان نیتريت را بالاتر از حد مجاز و علت آن قرار گرفتن چاه در مجاورت زمین‌های زیر کشت برنج و رسوبات شنی دانسته و فعالیت‌های کشاورزی را مهم‌ترین عامل آلودگی به نیتريت آب‌های زیرزمینی حاشیه زاینده‌رود قلمداد نموده‌اند، در این تحقیق میزان نیتريت کمتر از حد مجاز بوده است. نیتريت بیشترین میزان همبستگی را با نیتريت داشته و رابطه آنها مثبت بوده است. به نظر می‌رسد برخی از فعالیت‌های بیولوژیکی به‌همراه فرآیند احیاء صورت گرفته بر روی نیتريت در حین عبور آب از آبرفت بستر رودخانه تا چاه، نقش مهمی در کاهش میزان غلظت این پارامتر در آب چاه فلمن دارند.

پارامتر BOD به‌طور نسبی یکی از بهترین شاخص‌های اندازه‌گیری آلودگی منابع آبی به‌وسیله مواد آلی می‌باشد. به‌طوری‌که کاهش آن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از شاخص‌های کلیدی در روند تصفیه آب است (عرفان منش و افیونی، ۱۳۷۹). اصولاً آب آشامیدنی سالم باید فاقد BOD باشد (عابدی کوپائی و همکاران، ۱۳۸۵). میانگین تغییرات BOD در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن به ترتیب $2/47 \pm 0/17$ و $1/72 \pm 0/17$ میلی‌گرم در لیتر است. مقدار BOD در چاه فلمن در حدود ۳۰ درصد کاهش داشته است

روستا و ورود فاضلاب روستایی به رودخانه دوغ و همچنین زه آب‌ها کشاورزی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی و حیوانی از مهم‌ترین عواملی هستند که باعث کاهش شاخص NSFQI شده است. این زه آب‌ها معمولاً دارای مقادیر نسبتاً بالایی از مواد مغذی به خصوص نیترات و فسفات و همچنین کلیفرم مدفوعی هستند.

طبق نتایج به‌دست آمده از آزمون t با ۹۵ درصد اطمینان ($P \leq 0.05$) به جز دما و منگنز در بقیه پارامترها (۱۴ پارامتر) تفاوت معنی‌داری بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن وجود دارد (جدول ۵). بر این اساس می‌توان انتظار داشت که حداقل و حداکثر توان تصفیه چاه فلمن به ترتیب ۴۶ و ۸۵ درصد باشد و متوسط میانگین آن در چاه فلمن در حدود ۶۵ درصد برآورد شده است.

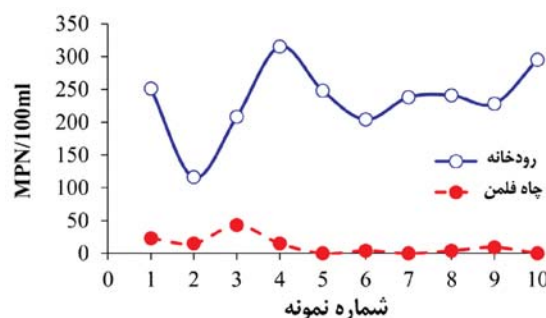
جدول ۵. نتایج آزمون t پارامترهای اندازه‌گیری شده رودخانه دوغ و چاه فلمن

نام پارامتر	تعداد نمونه	میانگین رودخانه	میانگین چاه فلمن	Fisher Sig.	t-test
دما (C°)	۱۰	۱۳	۱۵	۰/۱۶۱	۰/۳۹۴
کدورت (NTU)°	۱۰	۲۴/۰۵	۰/۵۵	.	.
رنگ (p4t.co)°	۱۰	۲	۰/۵	۰/۶۵۶	.
pH°	۱۰	۷/۷۵	۷/۴۳	۰/۶۹۸	.
نیتريت (mg/L)°	۱۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۷۸۳	.
نیترات (mg/L)°	۱۰	۲۴/۵	۱۹/۴۱	۰/۶۶۸	.
آمونیاک (mg/L)°	۱۰	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲۰	.
فسفات (mg/L)°	۱۰	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۲۳۲	.
فلوراید (mg/L)°	۱۰	۰/۲	۰/۲	۰/۲۴۱	.
آهن (mg/L)°	۱۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۲۵۲	۰/۰۴۵
منگنز (mg/L)	۱۰	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۹۵۲	۰/۳۲۸
COD (mg/L)°	۱۰	۳۰/۶	۲۰/۶	۰/۲۵۲	۰/۰۴۵
BOD (mg/L)°	۱۰	۲/۵	۱/۷	۰/۷۲۳	.
MPN°	۱۰	۶۰۲	۱۱	.	۰/۰۰۲

توجه: در پارامترهای مشخص شده با علامت ستاره (*)، تفاوت معنی‌دار وجود دارد ($P \leq 0.05$)

در آب چاه فلمن کاهش چشمگیری داشته است. همچنین براساس نتایج آزمون t تقریباً در تمامی این پارامترها تفاوت معنی‌دار بوده است. سطح کیفیت آب رودخانه دوغ و چاه فلمن بر اساس شاخص NSFQI به ترتیب متوسط و خوب ارزیابی شده که روند بهبود کیفیت در آب چاه فلمن کاملاً

1. Medium
2. Good



شکل ۹. منحنی تغییرات MPN در آب رودخانه دوغ و چاه فلمن

نتایج حاصل از محاسبه شاخص NSFQI برای هر دو منبع آبی نشان داد که میزان شاخص بین ۵۱ تا ۷۵ متغیر است. این شاخص برای رودخانه دوغ بین ۵۱-۵۷ و برای چاه فلمن بین ۶۴-۷۵ می‌باشد که این مقدار به ترتیب و با سطح کیفیت متوسط^۱ و خوب^۲ ارزیابی می‌شود. نزدیکی به

نتیجه‌گیری

این تحقیق به بررسی تاثیر نقش چاه‌های فلمن و فرآیند فیلتراسیون آبرفت کف رودخانه در بهبود پارامترهای کیفی آب‌های سطحی برای مصرف در بخش شرب پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان داد که تمامی پارامترهای فیزیکی، برخی از پارامترهای شیمیایی نظیر نیتريت، نیترات، آمونیاک، منیزیم، آهن و همچنین MPN به‌عنوان شاخص بیولوژیکی

رودخانه زرین گل استان گلستان با کاربرد شاخص کیفی آب (NSFWQI) و شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران (IRWQIsc). فصلنامه بهداشت در عرصه، ۳، ۲۷-۳۳.

- عابدی کوپائی، ج.، نصری، ز. و مأمّن پوش، ع.، ۱۳۸۵. بررسی کیفیت شیمیایی آب چاه‌های تأمین آب شرب فلمن در اصفهان. اولین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست.

- عرفان منش، م. و افیونی، م.، ۱۳۷۹. آلودگی محیط‌زیست: آب، خاک و هوا. انتشارات ارکان. اصفهان.

- علیزاده، م.، ۱۳۸۲. روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری آلودگی آب. انتشارات موج سبز، چاپ اول.

- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور-دفتر نظام فنی اجرایی، ۱۳۸۸. دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های سطحی (جاری)، نشریه شماره ۵۲۲.

- نصر، ز.، ۱۳۸۷. بررسی امکان آلودگی آب رودخانه زاینده‌رود و برخی از چاه‌های فلمن به دیازینون. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران.

- نوری، ر.ا.، ۱۳۸۶. ارزیابی اهمیت ایستگاه‌های پایش کیفی رودخانه‌ها با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی و آنالیز فاکتور، مطالعه موردی: رودخانه کارون. مجله آب و فاضلاب، ۶۳.

- Bourg, A.C.M. and Bertin, C., 1993. Bio-geochemical processes during infiltration of river water into an alluvial aquifer. *Environmental Science and Technology*, 27, 661-666.

- Capone, D.G. and Bautista, M.F., 1985. A groundwater source of nitrate in nearshore marine-sediments. *Nature*, 313 (5999), 214-216.

- Chapman, S.W., Parker, B.L., Cherry, J.A., Aravena, R. and Hunkeler, D., 2007. Groundwater-surface water interaction and its role on TCE groundwater plume attenuation. *Journal of Contaminant Hydrology*, 91, 3-4, 203-232.

- Conant, B., Cherry, J.A. and Gillham, R.W., 2004. A PCE groundwater plume discharging to a river: influence of the streambed and near-river zone on contaminant distributions. *Journal of Contaminant Hydrology*, 73, 1-4, 249-279.

مشهود بوده است. به‌نظر می‌رسد فیلتراسیون بستر رودخانه دوغ همانند صافی‌های شنی به‌کاررفته در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب نقش مهمی در کاهش برخی از پارامترهای آب و بهبود کیفیت آب در چاه فلمن کلاله دارد. غربال شدن، فرآیندهای بیوشیمیایی و جذب را می‌توان مهم‌ترین مکانیسم‌های حذف ناخالصی‌ها از آب رودخانه دوغ نام برد. مکانیسم‌های غربال شدن، فرآیندهای بیوشیمیایی به دلیل سرعت بالای نفوذ آب از بستر رودخانه در نتیجه پمپاژ زیاد آب از چاه، چندان در حذف ناخالصی‌ها از آب رودخانه دوغ موثر نیستند درحالی‌که فرآیند جذب موثرترین مکانیسم در کاهش برخی از پارامترهای آب رودخانه دوغ و بهبود کیفیت آب در چاه فلمن می‌باشد.

با توجه به قرارگیری چاه‌های فلمن شهرستان گنبدکاووس در مجاورت زمین‌های کشاورزی پیشنهاد می‌گردد که میزان سموم، پسماندهای آلی و فلزات سنگین در آب چاه فلمن اندازه‌گیری شود. با توجه به نیاز آبی مناطق شهری پیشنهاد می‌شود در مناطقی که از آب رودخانه برای مصارف شرب استفاده می‌شود، در صورت وجود بستر شنی و ماسه‌ای، برداشت غیرمستقیم آب از طریق حفر چاه‌های فلمن انجام گیرد زیرا می‌تواند باعث کوچک‌تر شدن تصفیه‌خانه‌های آب و کاهش هزینه‌های اقتصادی از نقطه‌نظر فیلتراسیون (کاهش کدورت) و مصرف مواد گندزدا (کاهش بار میکروبی) شود.

منابع

- چالکش امیری، م.، ۱۳۸۸. اصول تصفیه آب. انتشارات ارکان دانش، چاپ هفتم.

- خسروی دهکردی، ا.، افیونی، م. و موسوی، س.ف.، ۱۳۸۵. بررسی تغییرات غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی حاشیه زاینده‌رود در استان اصفهان. *محیط‌شناسی*، ۳۲، ۳۲-۴۰.

- سید، م.، خضری، س.م. و مرجانی، ع.، ۱۳۹۱. نقش چاه‌های فلمن در افزایش معیارهای کیفی آب جهت استفاده از آنها در سیستم‌های پرورش ماهی. دومین همایش ملی منابع شیلاتی در دریای خزر، ۹، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران.

- صادقی، م.، بای، ا.، بای، ن.، سفلائی، ن.، مهدی نژاد، م.م. و ملاح، م.، ۱۳۹۴. تعیین وضعیت کیفیت آب

- Doussan, C., Poitevin, G., Ledoux, E. and Detay, M., 1997. River bank filtration: modelling of the changes in water chemistry with emphasis on nitrogen species. *Journal of Contaminant Hydrology*, 25, 1-2, 129-156.
- Ghosh, N.C., Mishra, G.C., Sandhu, C.S.S., Grischek, T. and Singh, V.V., 2014. Interaction of aquifer and river-canal network near well field. *Groundwater*, 53, 5, 794-805.
- Grimaldi, C., Viaud, V., Massa, F., Car-teaux, L., Derosch, S., Regeard, A., Fauvel, Y., Gilliet, N. and Rouault, F., 2004. Stream nitrate variations explained by ground water head fluctuations in a pyrite-bearing aquifer. *Journal of Environmental Quality* 33, 3, 994-1001.
- Hiscock, K.M. and Grischek, T., 2002. Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. *Journal of Hydrology*, 266, 3-4, 139-144.
- Holloway, J.M. and Dahlgren, R.A., 2001. Seasonal and even-scale variations in solute chemistry for four Sierra Nevada catchments. *Journal of Hydrology*, 250, 1-4, 106-121.
- Lendvay, J.M., Sauck, W.A., McCormick, M.L., Barcelona, M.J., Kampbell, D.H., Wilson, J.T. and Adriaens, P., 1998. Geophysical characterization, redox zonation and contaminant distribution at a groundwater/surface water interface. *Water Resources Research*, 34, 3545-3559.
- Medina, M.A., Doneker, R.L., Grosso, N.R., Johns, M.D., Lung, W., Mohsen, M.F.N., Packman, A.I. and Roberts, P.J., 2002. Surface water groundwater interactions and modeling applications, environmental modeling and management - theory. In: *Practice and Future Directions*. Today Media, Inc., Wilmington, DE.
- Ray, C., Melin, G. and Linsky, R.B., 2003. Riverbank filtration: improving source-water quality. Springer Science and Business Media, 163.
- Sandhu, C., Grischek, T., Kumar, P. and Ray, C., 2011. Potential for riverbank filtration in India. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 13, 2, 295-316.
- Pani, S., 2011. Enhancement of natural water systems and treatment methods for safe and sustainable water supply in India. An EU Sponsored Collaborative Project no. 282911.
- Schmidt, C.K., Lange, F.T., Sacher, F., Baus, C. and Brauch, H.J., 2003. Assessing the fate of organic micropollutants during riverbank filtration utilizing field studies and laboratory test systems. *Geophysical Research Abstracts*, 5, 85-95.
- Sharma, S.K. and Amy, G., 2009. Bank filtration: A sustainable water treatment technology for developing countries. In 34th WEDC International Conference on Water, Sanitation and Hygiene. Sustainable Development and Multisectoral Approaches. Paper no. 715.
- Smith, J.W.N., 2005. Groundwater-Surface Water Interactions in the Hyporheic Zone. Science Report SC030155/SR1. Environment Agency, Almondsbury, Bristol, UK.
- Terrado, M., Barcel, D., Tauler, R., Borrell, E. and Campos, S.D., 2010. Surface-water-quality indices for the analysis of data generated by automated sampling networks. *Journal TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 29, 1, 40-52.
- USEPA, 2000. Proceedings of the Groundwater/Surface Water Interactions Workshop, Groundwater/Surface Water Interactions Workshop.
- Von gunten, H.R., Karametaxas, G., Krahenbuhl, U., Kuslys, M., Giovanoli, R., Hoehn, E. and Keil, R., 1991. Seasonal biogeochemical cycles in riverborne groundwater. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 55, 12, 3597-3609.