

بررسی میزان سمیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص IRWQIGT، (مطالعه موردی استان سمنان)

الله بخش جاوید^۱، نیلوفر قمی مقصد^۲، علی اکبر رودباری^۳

۱- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، شاهرود، ایران
 ۲- دانشجوی کارشناسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، شاهرود، ایران
 ۳- استادیار مرکز تحقیقات علوم رفتاری و اجتماعی در سلامت، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، شاهرود، ایران
 (نویسنده مسئول) ۲۳۹۴۴۹۹ (۰۲۳۳) roodbari@shmu.ac.ir

(دریافت ۹۳/۱۲/۲۱ پذیرش ۹۴/۴/۱۴)

چکیده

هدف این پژوهش، برآورد میزان سمیت منابع آب زیرزمینی استان با استفاده از شاخص IRWQIGT و پهنه‌بندی آن با سامانه اطلاعات جغرافیایی و از نوع مطالعات توصیفی تحلیلی بود که به مدت ۱۴ ماه بر روی منابع آب زیرزمینی استان سمنان انجام شد. برای این منظور، عملیات نمونه‌برداری از تمامی ۴۱ چاه تأمین‌کننده آب شهرهای استان سمنان به مدت یک سال به صورت ماهی یک بار و در فاصله زمانی مهر ماه ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۳ از طریق شیر برداشت خروجی از چاه صورت گرفت. سپس در آزمایشگاه، مقدار پارامترهای شیمیایی مورد نیاز برای تعیین شاخص IRWQIGT شامل آرسنیک، فنل، جیوه، دترجنت، کادمیم، سرب، کروم، سیانید، آهن، منگنز و هیدروکربورهای نفتی با استفاده از روش‌های کتاب استاندارد متد ۲۰۰۸ تعیین و بر اساس آن، مقدار این شاخص محاسبه شد. همچنین با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه پهنه‌بندی سمیت آبهای زیرزمینی استان سمنان بر اساس شاخص IRWQIGT تهیه شد. نتایج پژوهش مقدار شاخص IRWQIGT در آبهای زیرزمینی استان سمنان را بین ۹۶/۵۴ تا ۹۸/۲ نشان داد و آب منطقه در محدوده بسیار عالی قرار داشت. همچنین مقدار کمینه این شاخص در شهر سرخه، ۹۶/۵۸۵ و مقدار بیشینه آن در شهر مهدی شهر، ۹۸/۰۷۶ بود. بر اساس نتایج این پژوهش، به طور کلی کیفیت آبهای زیرزمینی استان سمنان در حد بسیار عالی است، مقدار تمام پارامترهای کیفی آب در تمامی منابع آبی استان در حد استاندارد قرار داشته و خطری متوجه شهروندان شهرهای مختلف استان از نظر سمیت آبهای زیرزمینی نیست.

واژه‌های کلیدی: IRWQIGT، آب زیرزمینی، سمیت، سمنان، پهنه بندی، GIS

۱- مقدمه

بیماری‌های مختلف در انسان و تخریب محیط‌های دریافت‌کننده این ترکیبات می‌شود [۶]. ای‌تای‌ایتای^۱، میناماتا^۲، ویلسون^۳ و ساتورنیزم^۴ بیماری‌هایی هستند که به طور مستقیم ناشی از حضور فلزات سنگین است [۷]. دترجنت‌ها نیز موجب اوتریفیکاسیون و پیر شدن رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و افزایش تعداد موارد بیماری متهموگلوبینما^۵ و سیانوز^۶ می‌شوند [۸]. به همین دلیل در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی برای تعیین اثرات و میزان سمیت این ترکیبات در منابع مختلف نظیر آب، هوا و غذا صورت گرفته است. با توجه به تعداد زیاد فلزات سنگین و سایر ترکیبات مولد سمیت در

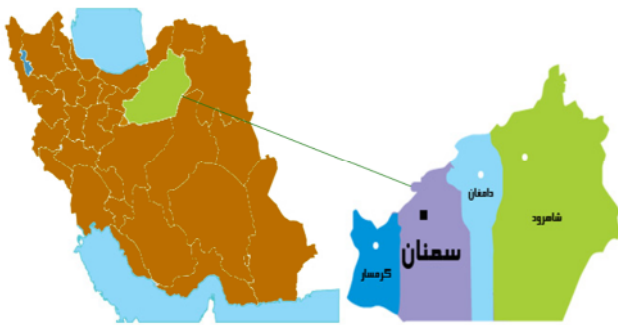
رشد جمعیت و توسعه صنعتی در دهه‌های اخیر منجر به گسترش آلودگی منابع آبی شده است. این آلودگی در اثر تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی و شیرابه محل‌های دفن زباله و محدود شدن منابع آب قابل استفاده کشور به وجود آمده است [۱]. فلزات سنگین و دترجنت‌ها از آلاینده‌هایی هستند که کاربرد آنها در سال‌های اخیر افزایش یافته است و در نتیجه، مقدار آنها در فاضلاب‌های ورودی به منابع آبی روبه افزایش است [۲] و [۳]. استفاده در آبکاری، تهیه داروها و پمادهای چشمی و به‌کارگیری به‌عنوان تثبیت‌کننده رنگ‌ها بخشی از کاربردهای فلزات سنگین هستند [۴]. دترجنت‌ها نیز در دو دهه اخیر به‌وفور به‌صورت شوینده‌ها و پاک‌کننده‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۵]. وجود مقدار زیاد این ترکیبات در منابع آب شرب منجر به ایجاد

¹ Itai-Itai
² Minamata
³ Wilson
⁴ Saturnism
⁵ Methemoglobinemia
⁶ Cyanosis

پژوهش محمدیان و همکاران، غلظت فلزات سنگین در چاه‌های مجاور کارخانه سرب و روی زنجان را در حد استانداردها و مقدار شاخص سمیت را در حد مطلوب نشان داد [۱۶]. هدف این پژوهش، برآورد میزان سمیت منابع آب زیرزمینی استان با استفاده از شاخص $IRWQI_{GT}$ و پهنه‌بندی آن با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) بود.

۲- مواد و روش‌ها

استان سمنان با جمعیت ۶۳۱۲۱۸ نفر و وسعت ۹۷۴۹۱ کیلومتر مربع در فاصله ۲۲۰ کیلومتری شرق تهران واقع شده است. (شکل ۱). این منطقه دارای طول جغرافیایی ۵۱ تا ۵۷ درجه و عرض جغرافیایی ۳۴ تا ۳۷ درجه و ارتفاع از سطح دریای آزاد برابر با ۱۶۳۰ متر است و از سمت شمال به استان‌های مازندران و گلستان، از جنوب به استان اصفهان، از شرق به استان‌های خراسان شمالی و رضوی و از غرب به استان‌های تهران و قم متصل است [۱۷].



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

۲-۱- روش مطالعه

منابع اصلی آب زیرزمینی شهرهای مختلف استان سمنان، ۴۱ حلقه چاه است که در مناطق مختلف استان واقع شده است. عملیات نمونه‌برداری از آب تمامی این چاه‌ها به مدت یک سال به صورت ماهی یک‌بار و در فاصله زمانی مهر ماه ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۳ از طریق شیر برداشت خروجی از چاه صورت گرفت. ظروف مورد استفاده نمونه‌برداری بر طبق دستورالعمل‌های کتاب روش‌های استاندارد، از جنس پلی‌اتیلن شیشه‌ای و پلاستیکی بود [۱۸]. به منظور آماده‌سازی ظروف، ابتدا به کمک یک مایع شستشوی رقیق‌شده، ظروف شسته شدند. سپس با استفاده از اسیدسولفوریک، اسیدشویی انجام و پس از شستشوی کامل با آب، مجدداً با آب مقطر بدون یون شستشو داده شد. برای شستشوی ظروف شیشه‌ای پس از شستشو با مایع رقیق‌شده و آب مقطر، در آون در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت خشک شد و

منابع آبی و همچنین واکنش‌های بینابینی این مواد با یکدیگر، تعیین سطح دقیق سمیت ناشی از این ترکیبات با دشواری‌هایی همراه است لذا پژوهشگران پس از مطالعات گسترده، شاخص‌هایی را برای تعیین میزان سمیت ناشی از این ترکیبات و همچنین کیفیت فیزیکوشیمیایی منابع آبی معرفی کرده‌اند که WQI ، $NSFWQI$ ، $OWQI$ ، $IRWQI_{SC}$ و $IRGWQI_{GT}$ برخی از آنها می‌باشند [۹-۱۲]. این شاخص‌ها ابزاری مناسب و ساده برای تعیین وضعیت و شرایط کیفیت آب به‌شمار می‌روند که در آنها داده‌های چند پارامتر کیفیت آب در یک فرمول ریاضی که با یک عدد، میزان سلامتی آب را نشان می‌دهد شرکت داده می‌شوند. این عدد با یک مقیاس نسبی که گویای کیفیت آب از بسیار بد تا عالی است، دسته‌بندی می‌شود. شاخص $IRGWQI_{GT}$ یکی از شاخص‌های پرکاربرد برای پهنه‌بندی کیفی آبها از نظر سمیت است که نسبت به سایر مدل‌های موجود دارای مشکلات کمتری است و همچنین به دلیل سادگی و در دسترس بودن مشخصه‌های کیفی مورد نیاز، توسط بیشتر پژوهشگران به‌کار گرفته می‌شود [۱۳]. این شاخص بر اساس مقدار پارامترهای آرسنیک، فنل، جیوه، دترجنت، کادمیم، سرب، کروم، سیانید، آهن، منگنز و هیدروکربورهای نفتی تعیین می‌شود.

در دنیا پژوهش‌های متعددی برای تعیین سمیت یا خطر حضور فلزات سنگین در منابع آبی با یا بدون استفاده از این شاخص صورت گرفته است. ناظمی و همکاران در پژوهشی به بررسی وضعیت فلزات سنگین در خاک، آب و گیاه اراضی سبزیکاری شهر شاهرود پرداختند که نتایج آن بیانگر آلودگی آب، خاک و گیاهان منطقه به فلزات سنگین در اثر مصرف کودهای شیمیایی، دفع غیربهداشتی فاضلاب و احتراق سوخت‌های فسیلی بوده است [۱۴]. رجایی و همکاران نیز در پژوهشی به بررسی غلظت فلزات سنگین روی، سرب، کروم و کادمیم در آب و رسوب خلیج گرگان و مصب رودخانه گرگانود پرداختند که یافته‌های آن، تفاوت معنی‌داری را در غلظت فلزات سنگین موجود در آب و رسوب ایستگاه‌های مختلف نشان داد. همچنین میزان کروم، کادمیم و سرب در زمان انجام پژوهش بیشتر از حد مجاز سازمان جهانی بهداشت^۶ بود. آنها در پژوهش خود احتمال وجود ارتباط بین غلظت‌های بالای فلزات سنگین و بیماری‌های محلی را مطرح کردند [۱۵]. اما

¹ Water Quality Index (WQI)

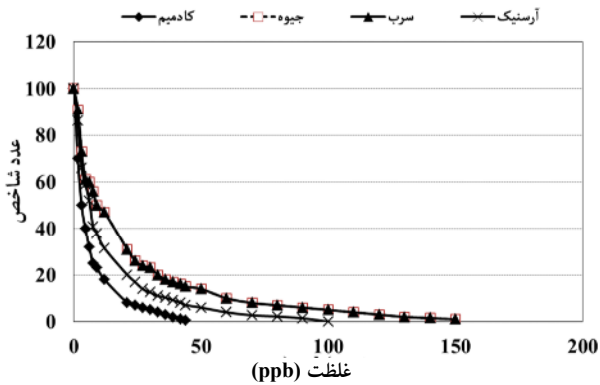
² National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI)

³ Oregon Water Quality Index (OWQI)

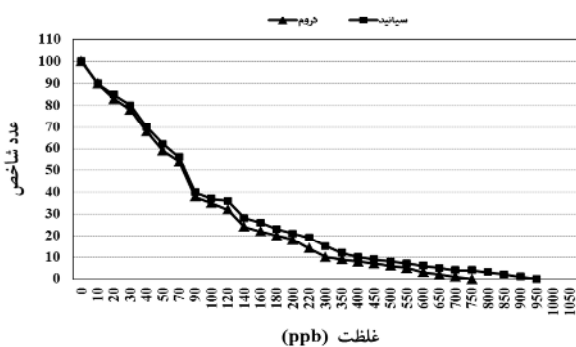
⁴ Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters ($IRWQI_{SC}$)

⁵ Iran Water Quality Index for Groundwater Resources-Toxic Parameters ($IRWQI_{GT}$)

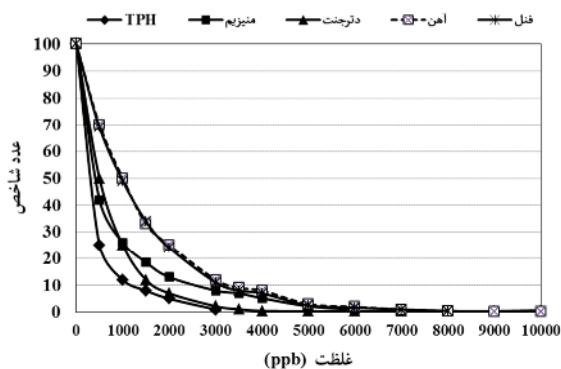
⁶ World Health Organization (WHO)



شکل ۲- شاخص متناظر با غلظت پارامترهای کادمیم، آرسنیک، سرب و جیوه در آب



شکل ۳- شاخص متناظر با غلظت پارامترهای کروم و سیانید در آب



شکل ۴- شاخص متناظر با غلظت پارامترهای TPH، منیزیم، دترجنت‌ها، آهن و نیکل در آب

$$IRWQI_{GT} = \left[\prod_{i=1}^N L_i W_i \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (1)$$

$$\gamma = \sum_{i=1}^n W_i \quad (2)$$

که در آن W_i وزن پارامتر i ام، n تعداد پارامترها و L_i مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی تعیین شاخص است.

پس از خشک شدن، درب بطری‌های مخصوص نمونه‌برداری هر پارامتر بسته شد. برای نمونه‌برداری، ابتدا متعلقات شیر برداشت از آن جدا شد. سپس نسبت به تمیز کردن فیزیکی سرشیر اقدام شد و در نهایت، بعد از خروج آب به مدت دو دقیقه از شیر برای کنترل خروج احتمالی شن و ماسه موجود در آب چاه، عملیات نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها به سرعت به آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب استان سمنان منتقل و مقدار پارامترهای شیمیایی مورد نیاز برای تعیین شاخص IRWQIGT شامل آرسنیک، فنل، جیوه، دترجنت، کادمیم، سرب، کروم، سیانید، آهن، منگنز و هیدروکربورهای نفتی با استفاده از روش‌های ذکر شده در کتاب استاندارد متد ۲۰۰۸ تعیین شد. مقدار آرسنیک، کادمیم و جیوه با روش طیف‌سنج جذب اتمی با کوره گرافیتی GTA-95، مقدار فنل به روش اسپکتروفتومتری، مقدار دترجنت‌ها به روش MBAS، مقدار سرب و کروم با روش طیف‌سنجی جذب اتمی، مقدار آهن با روش اسپکتروفتومتر ارتوفنانتروپین، مقدار منگنز با روش اسپکتروفتومتر و مقدار مجموع هیدروکربورها (TPH) به روش اسپکتروفتومتر مادون قرمز تعیین شد [۱۹].

۲-۲- شاخص IRWQIGT

شاخص IRWQIGT یک شاخص بسیار مفید و مؤثر برای ارزیابی کیفیت آبهای زیرزمینی از نظر میزان سمیت است [۲۰]. برای محاسبه این شاخص، ابتدا مقدار پارامترهای یازده‌گانه شامل آرسنیک، فنل، جیوه، دترجنت، کادمیم، سرب، کروم، سیانید، آهن، منگنز و هیدروکربورهای نفتی اندازه‌گیری شد. سپس بر اساس جدول ۱ به هر پارامتر، یک وزن تعلق گرفت. در مرحله بعد، با استفاده از شکل‌های ۲ تا ۴، غلظت هر پارامتر تبدیل به عدد شاخص آن پارامتر شد و در نهایت مقدار شاخص IRWQIGT بر اساس رابطه زیر محاسبه شد

جدول ۱- پارامترهای شاخص IRWQIGT و وزن آنها

پارامتر	وزن	پارامتر	وزن
آرسنیک	۰/۱۲۸	فنل	۰/۰۹۱
جیوه	۰/۱۱۷	کروم	۰/۰۸۴
TPH	۰/۱۰۸	سیانید	۰/۰۷۰
دترجنت	۰/۱۰۰	آهن	۰/۰۶۳
سرب	۰/۰۹۲	منگنز	۰/۰۵۶
کادمیم	۰/۰۹۲		

مدل GPS 550 به صورت XYZ و با فرمت UTM تعیین شد. بعد از برداشت مختصات، تبدیل نهایی داده‌ها در نرم‌افزار Arc GIS صورت گرفت که نهایتاً خروجی به صورت لایه‌های رقومی با فرمت Point درآمد و در فاز بعدی، جدول توصیفی محل چاه‌ها به روز شد تا پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی استان سمنان بر اساس شاخص IRWQI_{GT} تهیه شود.

۳- نتایج و بحث

الف- نتایج نمونه‌برداری از چاه‌های مورد مطالعه

پس از نمونه‌برداری از چاه‌های آب استان و انجام آزمایش بر روی نمونه‌های آب، مقدار پارامترهای مختلف مطابق با جداول ۳ تا ۶ به دست آمد.

طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی بر مبنای IRWQI_{GT} نیز به صورت جدول ۲ است.

جدول ۲- طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی بر اساس شاخص IRWQI_{GT}

مقدار شاخص	معادل توصیفی
کمتر از ۱۵	خیلی بد
۱۵-۲۹/۹	بد
۳۰-۴۴/۹	نسبتاً بد
۴۵-۵۵	متوسط
۷۰-۵۵/۱	نسبتاً خوب
۸۵-۷۰/۱	خوب
بیشتر از ۸۵	بسیار خوب

۳-۲- تهیه نقشه‌ها و پهنه‌بندی منطقه

با توجه به اینکه چاه‌های مورد مطالعه، تمامی چاه‌های تأمین آب استان سمنان بود، ابتدا مختصات آنها با گیرنده GPS اورگان^۱

¹ Oregon

جدول ۳- مقدار پارامترهای اندازه‌گیری شده در شهرستان‌های مورد مطالعه در فصل بهار

ردیف	پارامتر	غلظت (ppb)							استاندارد WHO و وزارت نیرو
		سمنان	شاهرود	گرمسار	دامغان	مهدی شهر	آرادان	میامی	
۱	آرسنیک	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۴	۰/۳۸	۰/۳۵	۱۰
۲	فنل	۱	۱/۲	۰/۹۵	۰/۸۳	۰/۹۴	۰/۵	۰/۶۳	۴
۳	جیوه	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۱۵۲	۰/۱۲	۰/۱۶۵	۰/۱۷۵	۰/۱۶	۱
۴	دترجنت	۰/۰۵۳	۰/۰۴۴	۰/۰۴۶	۰/۰۵۹	۰/۰۴۸	۰/۰۳۹	۰/۰۷۲	۱
۵	کادمیم	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۴۹	۰/۰۴۹	۳
۶	سرب	۰/۷۳	۰/۵۵	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۵	۰/۲۳	۰/۳۶	۵
۷	کروم	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۶۵	۰/۸۳	۰/۵۳	۰/۷۶	۰/۶۷	۵۰
۸	سیانید	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۷۰
۹	آهن	۱۴	۲۵	۲۱	۱۰	۱۸	۱۴/۳	۱۶/۵	۳۰۰
۱۰	منگنز	۱۹۹	۱۸۰	۱۸۹	۲۰۰	۱۶۰	۱۶۱	۱۶۳	۵۰۰
۱۱	TPH	۲۱/۱	۲۶/۳	۲۲/۱	۲۰/۱	۲۲/۵	۲۲/۳	۲۳/۵	۱

جدول ۴- مقدار پارامترهای اندازه‌گیری شده در شهرستان‌های مورد مطالعه در فصل تابستان

ردیف	پارامتر	غلظت (ppb)						
		سمنان	شاهرود	گرمسار	دامغان	مهدی شهر	آرادان	میامی
۱	آرسنیک	۰/۴۲	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۴	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۳۴
۲	فنل	۰/۸	۱	۱/۱	۰/۸	۰/۹۵	۰/۴	۰/۶۲
۳	جیوه	۰/۱	۰/۲۶	۰/۱۴۱	۰/۱۲	۰/۱۷۷	۰/۱۶۹	۰/۱۵۸
۴	دترجنت	۰/۰۵	۰/۰۵۲	۰/۰۴۲	۰/۰۵۸	۰/۰۴۴	۰/۰۴۹	۰/۰۶۵
۵	کادمیم	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۴۷	۰/۰۵
۶	سرب	۰/۷	۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۶	۰/۵	۰/۲۶	۰/۴۸
۷	کروم	۰/۸۸	۰/۹۸	۰/۷۳	۰/۸۲	۰/۵۲	۰/۷۳	۰/۶۲
۸	سیانید	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷
۹	آهن	۱۷	۲۷	۲۲	۱۱	۱۱	۱۱	۱۶/۱
۱۰	منگنز	۲۰۳	۱۸۵	۱۸۸	۲۰۲	۱۶۸	۱۶۶	۱۶۴
۱۱	TPH	۲۱.۵	۲۴/۲	۲۳	۲۱/۱	۲۳/۵	۲۳/۶	۲۱/۸

جدول ۵- مقدار پارامترهای اندازه‌گیری شده در شهرستان‌های مورد مطالعه در فصل پائیز

ردیف	پارامتر	غلظت (ppb)					
		سمنان	شاهرود	گرمسار	دامغان	مهدی شهر	آرادان
۱	آرسنیک	۰/۴۲	۰/۵	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۴	۰/۳۸
۲	فصل	۰/۸۶	۱/۱	۰/۹۶	۰/۸۲	۰/۹۴	۰/۳
۳	جیوه	۰/۱۴	۰/۲۷	۰/۱۴۱	۰/۱۲	۰/۱۶۹	۰/۱۶۷
۴	دترجنت	۰/۰۴۹	۰/۰۴۹	۰/۰۴۳	۰/۰۵۹	۰/۰۴۶	۰/۰۴۹
۵	کادمیم	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۴۵
۶	سرب	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۶۶	۰/۶	۰/۵۴	۰/۲۸
۷	کروم	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۷	۰/۸۶	۰/۵۹	۰/۷۱
۸	سیانید	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴
۹	آهن	۱۴	۲۱	۲۱	۱۴	۱۳	۱۲/۶
۱۰	منگنز	۱۹۸	۱۸۸	۱۷۶	۲۰۰	۱۶۲	۱۶۳
۱۱	TPH	۲۱/۱	۲۸/۲	۲۲/۴	۲۰/۱	۲۴	۲۳/۶

جدول ۶- مقدار پارامترهای اندازه‌گیری شده در شهرستانهای مورد مطالعه در فصل زمستان

ردیف	پارامتر	غلظت (ppb)					
		سمنان	شاهرود	گرمسار	دامغان	مهدی شهر	آرادان
۱	آرسنیک	۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۳۸
۲	فصل	۰/۹	۱/۱	۰/۹۴	۰/۸۳	۰/۹۳	۰/۵
۳	جیوه	۰/۱	۰/۲۵	۰/۱۴۴	۰/۱۲	۰/۱۶۵	۰/۱۶۱
۴	دترجنت	۰/۰۵	۰/۰۴۹	۰/۰۴۳	۰/۰۵۸	۰/۰۴۶	۰/۰۵۹
۵	کادمیم	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴۳
۶	سرب	۰/۶۹	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۵۴	۰/۲۷
۷	کروم	۰/۹	۰/۹۵	۰/۶۸	۰/۸۲	۰/۵۹	۰/۷۳
۸	سیانید	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴
۹	آهن	۱۵	۲۳	۱۷	۱۳	۱۴	۹/۹
۱۰	منگنز	۲۰۰	۱۸۱	۱۷۵	۲۰۲	۱۶۲	۱۶۳
۱۱	TPH	۲۱/۲	۲۷/۵	۲۳/۱	۲۱/۱	۲۴	۲۰/۸

ب- نتایج مقدار شاخص IRWQI_{GT} منابع آب زیرزمینی استان سمنان

جدول ۷ نتایج مربوط به مقدار شاخص IRWQI_{GT} منابع آب زیرزمینی استان سمنان را نشان می‌دهد. شکل ۵ نمودار مقایسه‌ای مقدار سالانه شاخص IRWQI_{GT} را در شهرهای مختلف استان سمنان نشان می‌دهد. جدول ۸ مختصات چاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی استان سمنان بر اساس شاخص IRWQI_{GT} و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در شکل ۶ نشان داده شده است. بر اساس پهنه‌بندی فوق، وضعیت شاخص در تمامی چاه‌ها و در همه شهرهای استان سمنان از نوع بسیار خوب است.

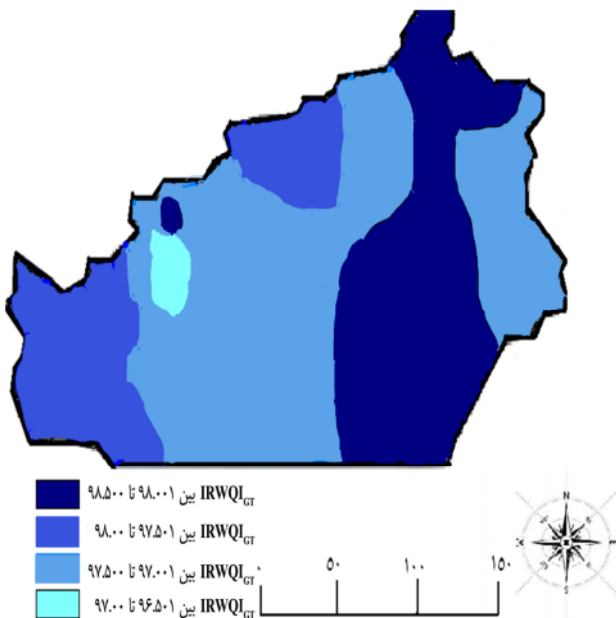
۳-۱- بررسی غلظت فلزات سنگین در منابع آبی استان
جدول ۳ تا ۶ مقدار پارامترهای اندازه‌گیری شده در منابع آب زیرزمینی استان سمنان را در فصل‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود:

مقدار تمامی پارامترها در تمامی منابع آب زیرزمینی استان در حد استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی سازمان جهانی بهداشت و وزارت نیرو است.

مقدار آرسنیک منابع آب زیرزمینی استان بین ۰/۳۴ تا ۰/۵۱ ppb است. کمترین مقدار مربوط به میامی در فصل تابستان و بیشترین مقدار آن مربوط به شاهرود در فصل تابستان است. در مطالعه بوداگی و همکاران نیز مقدار آرسنیک در آب زیرزمینی قائم‌شهر کمتر از حد استاندارد و برابر با صفر بود [۲۱]. اما در مطالعه دهقانی و همکاران، غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی

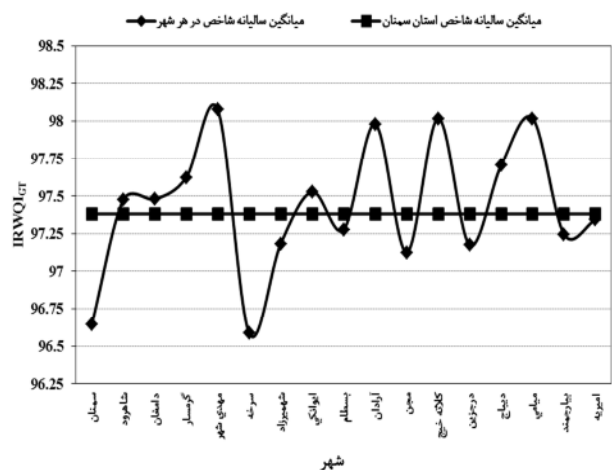
جدول ۷- مقدار شاخص IRWQI_{GT} منابع آب زیرزمینی شهرهای مختلف استان سمنان

مقدار شاخص IRWQI _{GT}					نام شهر	ردیف
سالانه	زمستان	پاییز	تابستان	بهار		
۹۶/۶۴۵	۹۶/۵۵۷	۹۶/۷۸۴	۹۶/۵۶۷	۹۶/۶۷۲	سمنان	۱
۹۷/۴۷۳	۹۷/۵۹۹	۹۷/۷۵۴	۹۶/۹۴۰	۹۷/۵۹۹	شاهرود	۲
۹۷/۴۷۸	۹۷/۴۴۴	۹۷/۵۶۹	۹۷/۳۳۱	۹۷/۵۶۹	دامغان	۳
۹۷/۶۲۳	۹۷/۷۳۰	۹۷/۶۵۲	۹۷/۴۶۷	۹۷/۶۴۳	گرمسار	۴
۹۸/۰۷۶	۹۸/۲	۹۸/۰۳۷	۹۷/۹۶۸	۹۸/۱	مهدی شهر	۵
۹۶/۵۸۵	۹۵/۵۴۶	۹۶/۶۲۵	۹۶/۵۴۶	۹۶/۶۲۳	سرخه	۶
۹۷/۱۸۲	۹۷/۲۱۶	۹۷/۲۱۴	۹۷/۲۱۶	۹۷/۰۸	شهمیرزاد	۷
۹۷/۵۲۸	۹۷/۵۷۵	۹۷/۵۱۲	۹۷/۵۱۲	۹۷/۵۱۲	ایوانکی	۸
۹۷/۲۷۷	۹۷/۳۵۹	۹۷/۳۵۸	۹۷/۴۲۰	۹۶/۹۷۰	بسطام	۹
۹۷/۹۷۹	۹۷/۹۹۹	۹۷/۹۹۹	۹۷/۹۲۱	۹۷/۹۹۹	آرادان	۱۰
۹۷/۱۲۵	۹۷/۱	۹۷/۱۰۲	۹۷/۲۲۷	۹۷/۰۷	مجن	۱۱
۹۸/۰۱۸	۹۸/۰۱۸	۹۸/۰۱۸	۹۸/۰۱۸	۹۸/۰۱۸	کلاته خیج	۱۲
۹۷/۱۷۴	۹۷/۱۷۴	۹۷/۱۷۴	۹۷/۱۷۴	۹۷/۱۷۴	درجزین	۱۳
۹۷/۷۰۴	۹۷/۸۹۱	۹۷/۱۴۱	۹۷/۸۹۱	۹۷/۸۹۱	دیباچ	۱۴
۹۸/۰۱۸	۹۸/۰۱۸	۹۸/۰۱۸	۹۸/۰۱۸	۹۸/۰۱۸	میامی	۱۵
۹۷/۲۴۵	۹۷/۹۲۱	۹۷/۲۲۸	۹۷/۱۰۳	۹۶/۷۲۸	بیارجمند	۱۶
۹۷/۳۴۳	۹۶/۹۲۰	۹۷/۵۳۵	۹۷/۴۵۹	۹۷/۴۵۹	امیریه	۱۷
۹۷/۳۸۱	۹۷/۳۸۶	۹۷/۳۵۴	۹۷/۳۹۸	۹۷/۴۱۹	میانگین استان	۱۸



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی منابع آب زیرزمینی استان سمنان از نظر شاخص IRWQI_{GT}

دشت انار همدان بین ۱۰ تا ۵۷ ppb به دست آمد که بالاتر از حدود استاندارد است. این پژوهشگران علت بالا بودن مقدار آرسنیک را وجود رگه‌های سولفیدی در معادن مس کرمان اعلام کردند [۲۲].



شکل ۵- نمودار مقایسه‌ای مقدار سالانه شاخص IRWQI_{GT} در شهرهای مختلف استان سمنان

جدول ۸- موقعیت چاه‌های مورد مطالعه در سیستم اطلاعات جغرافیایی

ردیف	نام چاه	N	E	ردیف	نام چاه	N	E
۱	سمنان	35°36'39.53"	53°23'34.01"	۱۰	آرادان	35°16'07.06"	52°29'34.07"
۲	شاهرود	36°28'26.10"	54°57'35.79"	۱۱	مجن	36°29'18.02"	54°38'18.42"
۳	گرمسار	35°17'50.26"	52°24'49.70"	۱۲	کلاته خنج	36°42'09.24"	55°18'42.19"
۴	دامغان	36°08'42.08"	54°20'25.28"	۱۳	درجزین	35°39'58.22"	53°19'31.94"
۵	مهدی شهر	35°44'54.57"	53°21'46.81"	۱۴	دیباج	36°25'25.04"	54°13'42.89"
۶	سرخه	35°28'12.44"	53°12'48.07"	۱۵	میامی	36°24'11.23"	55°38'53.91"
۷	شهمیرزاد	35°46'51.79"	53°18'47.03"	۱۶	بیارجمند	36°06'35.44"	55°54'38.25"
۸	ایوانکی	35°22'36.54"	51°52'30.82"	۱۷	امیریه	35°01'22.06"	54°08'35.16"
۹	بسطام	36°30'12.66"	54°59'12.90"				

مقدار کروم منابع آب زیرزمینی استان بین ۰/۵۲ تا ۰/۹۸ ppb است. کمترین مقدار مربوط به مهدی شهر در فصل تابستان و بیشترین مقدار آن مربوط به شاهرود در فصل تابستان است. در مطالعه علیدادی و همکاران نیز غلظت کروم در منابع آب زیرزمینی مشهد کمتر از حدود استاندارد بود [۲۵].

مقدار سیانید منابع آب زیرزمینی استان بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۹ ppb است. کمترین مقدار مربوط به دامغان در فصل بهار و بیشترین مقدار آن مربوط به میامی در فصل بهار است. اما در مطالعه حاجتی و همکاران در سد باطله لکان، مقدار سیانید بیشتر از استانداردهای آب شرب بود که ناشی از تجمع تغلیظ‌های معدن است [۲۶].

۳-۲- بررسی مقدار شاخص IRWQI_{GT} منابع آب زیرزمینی استان سمنان

جدول ۷ و شکل ۵ نتایج مربوط به مقدار شاخص IRWQI_{GT} منابع آب زیرزمینی استان سمنان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار این شاخص برای آبهای زیرزمینی تمامی چاه‌های مطالعه شده استان سمنان در حد بسیار خوب قرار دارد. بررسی‌های دقیق‌تر سطح استان سمنان و محل منابع آبهای زیرزمینی استان نشان می‌دهد که علی‌رغم توسعه صنعتی روی داده در سطح استان و ایجاد بیش از ۷ واحد تولید مواد شیمیایی و صنایع فولاد و ریخته‌گری در استان و نیز با وجود رونق جدی معدن‌کاری در استان، به دلیل فاصله نسبتاً زیاد این منابع آلاینده از محل چاه‌ها و آب‌های زیرزمینی استان، خطری متوجه این منابع نیست و سمیت ناشی از فلزات سنگین، این منابع را تهدید نمی‌کند. همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد عدد شاخص IRWQI_{GT} به‌دست آمده برای تمامی منابع آب زیرزمینی استان بین ۹۶/۵۴ تا ۹۸/۲ بود که به معنای کیفیت بسیار عالی منابع آب زیرزمینی استان از نظر سمیت

مقدار فنل منابع آب زیرزمینی استان بین ۰/۳ تا ۱/۲ ppb است. کمترین مقدار مربوط به آرادان در فصل پاییز و بیشترین مقدار آن مربوط به شاهرود در فصل بهار است.

مقدار جیوه منابع آب زیرزمینی استان بین ۰/۱ تا ۰/۲۷ ppb می‌باشد. کمترین مقدار مربوط به سمنان در فصل زمستان و بیشترین مقدار آن مربوط به شاهرود در فصل پاییز است. در مطالعه کرباسی و همکاران غلظت جیوه منابع آب زیرزمینی شهرستان الشتر برابر با ۳/۳ ppb بود که بیشتر از حد استاندارد آن است. علت این امر نیز وجود رگه‌های معدنی حاوی جیوه در نزدیکی این منابع اعلام شده است [۲۳]. اما در مطالعه امام علی‌پور و همکاران غلظت جیوه در طوره باختر خور ۱ ppb اعلام شد که در حد استاندارد است [۲۴].

مقدار کادمیم منابع آب زیرزمینی استان بین ۰/۰۴ تا ۰/۰۸ ppb است. کمترین مقدار مربوط به مهدی شهر در فصل زمستان و بیشترین مقدار آن مربوط به گرمسار در فصل تابستان است. در مطالعه بوداگی و همکاران نیز مقدار کادمیم در آب زیرزمینی قائم شهر کمتر از حد استاندارد و برابر با صفر بود [۲۱]. در مطالعه علیدادی و همکاران نیز غلظت کادمیم در منابع آب زیرزمینی مشهد کمتر از حدود استاندارد بود. البته غلظت برخی فلزات سنگین نظیر سرب در آب این شهر اندکی بالا بود که ناشی از عمر زیاد لوله‌های توزیع آب این شهر است [۲۵].

مقدار سرب منابع آب زیرزمینی استان بین ۰/۲۳ تا ۰/۷۳ ppb است. کمترین مقدار مربوط به آرادان در فصل بهار و بیشترین مقدار آن مربوط به سمنان در فصل بهار است. اما در مطالعه دهقانی و همکاران، غلظت سرب در منابع آب زیرزمینی دشت انار همدان بین ۱۰ تا ۱۷ ppb به‌دست آمد که بالاتر از حدود استاندارد بود. این پژوهشگران علت بالا بودن مقدار سرب را وجود رگه‌های سرب در معادن منطقه اعلام کردند [۲۲].

استان در چهار سمت آن است که منجر به ایجاد سرعت‌های شستشوی متفاوت و رواناب‌های با خصوصیات مختلف در سطح استان شده است که به نوبه خود بر روی کیفیت آبهای زیرزمینی استان نیز تأثیر می‌گذارند.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان داد که غلظت تمامی فلزات سنگین، درجنت‌ها، فنل، ترکیبات نفتی و آهن و منگنز در منابع آب زیرزمینی استان سمنان در محدوده مجاز است و مقدار شاخص $IRWQI_{GT}$ نیز در حد بسیار عالی قرار دارد. به عبارتی دیگر غلظت ترکیبات فوق‌الذکر در منابع آبی استان بسیار کمتر از آن حدی است که بتواند خطر سمیت برای مصرف‌کنندگان آن ایجاد نماید. با این حال با توجه به توسعه جدی صنعتی آغاز شده در استان و به منظور حفظ کیفیت منابع آبی استان پیشنهاد می‌شود به‌هنگام اعطای مجوز بهره‌برداری به صنایع و واحدهای تولیدی و معدنی، الزامات قانونی حفاظت از منابع آبی با جدیت رعایت شود و اجازه ساخت و ساز صنعتی در حریم این منابع صادر نشود، همچنین یک برنامه پایش فصلی منابع آبی استان نیز طراحی و اجرا شود تا روند تغییرات کیفی آب این منابع، شناسایی و اقدامات حفاظتی یا پیشگیرانه لازم انجام شود.

۵- قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از زحمات و حمایت‌های مدیران شرکت آب و فاضلاب شهری استان سمنان قدردانی نمایند.

ناشی از فلزات سنگین و سایر ترکیبات است (جدول ۲). مطالعات علیدادی و همکاران در مشهد نیز حاکی از کیفیت بالای آب این شهر از نظر فلزات سنگین بود و فقط سرب به‌عنوان یک پارامتر تهدیدکننده مطرح است [۲۵]. در مطالعه اردکانی و همکاران نیز کیفیت آب زیرزمینی دشت رزن از نظر فلزات سنگین در حد خوب و بی‌خطر اعلام شد [۲۷]. البته مطالعه دهقانی و همکاران غلظت بالای فلزات سنگین را در دشت انار همدان نشان داد [۲۲].

به هر حال با توجه به متغیر بودن غلظت این فلزات در منابع آبی مختلف کشور، توصیه می‌شود در مناطق دارای غلظت‌های بالای این فلزات، مطالعاتی در زمینه ارتباط بین این غلظت‌ها و بیماری‌های شایع آن مناطق صورت گیرد.

۳-۳- پهنه‌بندی منابع آب زیرزمینی استان سمنان از نظر شاخص $IRWQI_{GT}$

شکل ۶ نقشه پهنه‌بندی منابع آب زیرزمینی استان سمنان را از نظر شاخص $IRWQI_{GT}$ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هیچ یک از منابع آب زیرزمینی استان، خطر سمیت ناشی از فلزات سنگین و سایر ترکیبات وجود نداشت و کیفیت آب آنها از نظر سمیت در رده بسیار عالی قرار داشت. همچنین تغییرات مقدار این شاخص در مناطق مختلف نیز بسیار اندک بود که یکی از دلایل این امر، واقع شدن اکثر منابع آبی استان در ارتفاعات و با ترکیب خاک و زمین‌شناسی مشابه است، هرچند در برخی نقاط استان نظیر دیباج و میامی، این ترکیب دارای تفاوت‌هایی بود که منجر به تغییر جزئی در مقدار شاخص $IRWQI_{GT}$ شده است. یک دلیل دیگر تغییرات جزئی مقدار این شاخص در مناطق مختلف استان، تفاوت اقلیم

۶- مراجع

1. Earnhart, D. (2013). "Water pollution from industrial sources." *Encyc. Energ. Nat. Res. Environ. Econ.*, 3, 114-120.
2. Wu, Q.H., Leung, J.Y.S., Geng, X.H., Chen S.J., Huang, X.X., Li, H.Y., Huang, Z.Y., Zhu L.B., Chen, J.H., and Lu, Y.Y. (2015). "Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metals." *Sci. Total Environ.*, 506-507, 217-225.
3. Sounthararajah, D.P., Loganathan, P., Kandasamy, J., and Vigneswaran, S. (2015). "Adsorptive removal of heavy metals from water using sodium titanate nanofibres loaded onto GAC in fixed-bed columns." *J. Hazard. Mater.*, 287, 306-316.
4. Saiful Islam, M.D., Kawser Ahmed, M.D., Raknuzzaman, M., Al- mamun, M.D.H., and Islam, M.K. (2015). "Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country." *Ecol Indic.*, 48, 282-291.
5. Hanan, S., and Gawad, A. (2014). "Aquatic environmental monitoring and removal efficiency of detergents." *Water Res.*, 28(1), 51-64.
6. Lee, K.H., Park, K.Y., Khanal, S.K., and Lee, J.W. (2013). "Effects of household detergent on anaerobic fermentation of kitchen wastewater from food waste disposer." *J. Hazard Mater.*, 244-245, 39-45.

7. Al-Shannag, M., Al-Qodah, Z., Bani-Melhem, K., Qtaishat, M.R., and Alkasrawi, M. (2015). "Heavy metal ions removal from metal plating wastewater using electrocoagulation: Kinetic study and process performance." *Chem. Eng. J.*, 260, 749-756.
8. Huang, W.W., Chu, H.Q., Dong, B.Z., Hu, M.L., and Yu, Y. (2015). "A membrane combined process to cope with algae blooms in water." *Desalination.*, 355(1), 99-109.
9. Sharma, P., Kumar Meher, P., Kumar, A., Prakash Gautam, Y., and Prasad Mishra, K. (2014). "Changes in water quality index of Ganges river at different locations in Allahabad." *Sust. Water Qual. Ecol.*, 3-4, 67-76.
10. Lobato, T.C., Hauser-Davis, R.A., Oliveira, T.F., Silveira, A.M., Silva, H.A.N., Tavares, M.R.M., and Saraiva, A.C.F. (2015). "Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region." *J. Hydro.*, 522, 674-683.
11. Akkoyunlu, A., and Akiner, M.E. (2012). "Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin." *Ecol. Indic.*, 18, 501-511.
12. Trowsdale, A.S., and Lerner, D.N. (2007). "A modeling approach to determine the origin of urban ground water." *J. Cont. Hydro.*, 91(1-2), 171-183.
13. Mohebbi, M.R., Saeedi, R., Montazeri, A., Azam Vaghefi, K., Labbafi, S., Oktaie, S., Abtahi, M., and Mohagheghian, A. (2013). "Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI)." *Ecol. Indic.*, 30, 28-34.
14. Nazemi, S., and Khosravi, A. (2010). "Heavy metals levels in soil, water and vegetables in Shahroud." *Sci. J. Shahroud Univ. Med. Sci.*, 5(4), 27-31. (In Persian)
15. Rajaei, G., Hasanpour, M., and Mehdinejad, M.H. (2012). "Heavy metals levels in soil and water of Gorgan bay and Gorganroud Statuary." *Res. Health Syst.*, 8(5), 748-756. (In Persian)
16. Mohammadian, M., Nouri, J., Afshari, N., Nasiri, J., and Nourani, M. (2009). "Heavy metals levels in wells adjacent to Zanjan lead and Zinc industry." *Health Environ.*, 1(1), 51-56. (In Persian)
17. Ataei, H., and Hashemi Nasab, S. (2010). "Tourism climate potentials associated with Semnan Province by using physiology equivalent thermal (PET)." *J. Res. Urb. Ecol.*, 1(2), 23-32. (In Persian)
18. APHA. AWWA. EWF. (2008). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, USA.
19. Wang, Z.H., Yao, L., Liu, G.H., and Liu, W.Z. (2014). "Heavy metals in water, sediments and submerged macrophytes in ponds around the Dianchi Lake, China." *Ecotox. Environ Saf.*, 107, 200-206.
20. Gharibi, H., Mahvi, A.H., Nabizadeh, R., Arabalibeik, H., Yunesian, M., and Sowlat, M.H. (2012). "A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic." *J. Environ Manag.*, 112, 87-95.
21. Bodaghi, H., Yunesian, M., Mahvi, A.H., Alimohammadi, M., Dehghani, M.H., and Nazmara, S. (2011). "Heavy metals levels in soil and groundwater and it's relation to fertilizers in Ghaemshahr city." *Sci. J. Mazand. Univ. Med. Sci.*, 21(1), 21-29. (In Persian)
22. Dehghani, M., and Abbasnejad, A. (2010). "Anar plain's groundwater pollution with nitrate, lead, arsenic and cadmium." *Journal of Environmental Studies*, 36(56), 87-100. (In Persian)
23. Karbasi, M., Karbasi, E., Ghorbanizadeh, H., and Saremi, A. (2010). "Heavy metals levels in Alashtar drinking water's resources." *Sci. J. Lorens. Univ. Med. Sci.*, 12(1), 58-65. (In Persian)
24. Emamalipor, A., and Abdollahi, J. (2011). "Mercury core geochemistry analysis and its environmental impact on Toreh Bakhtar area." *Journal of Economic Geology.*, 2(3), 183-192.
25. Alidadi, H., Peiravi, R., Dehghan, A.A., Vahedian, M., Haghhigh, H., and Amini, A.R. (2013). "Survey of heavy metals concentration in Mashhad drinking water in 2011." *Razi Med. Sci. J.*, 20(116), 27-34. (In Persian)
26. Hajati, A.M., Ghomi, M., Atapour, H., and Abreh, B. (2014). "Survey on the possible impact of Lekan industry abandoned wastes on surface water resources with GIS." *Second National Conference on Environmental Engineering*, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (In Persian)
27. Ardakani, S., Jamali, M., and Maanijoo, M. (2014). "Survey on arsenic, zinc, chromium and magnesium levels in Razan plain groundwater resources with GIS." *J. Environ. Sci Technol.*, 16(2), 25-37. (In Persian)