

استفاده از تکنولوژی تغذیه مصنوعی حوضه آبخوان برای مدیریت منابع آب و کاهش آلودگی های آب (مورد مطالعه: منطقه گرمسار)

۱- حسین حسن پور درویشی* ۲- مسلم سلطانیان تلک آبادی

گروه مهندسی منابع آب دانشگاه آزاد واحد شهر قدس تهران ایران^{۱،۲}

چکیده

آب های زیر زمینی که بخشی از چرخه آب را تشکیل می دهند. خصوصیات زمانی و مکانی آلودگی آب های زیرزمینی به عنوان یک مسئله مهم در اصلاح موثر سفره های آب زیرزمینی و ارزیابی خطرات مربوط به سلامتی است.

روش: توصیف منبع آلوده شامل شناسایی مکان و منبع مکانی، میزان تزریق و دوره های انتشار است. بررسی ساخت مخازن اختلاط آب زیر زمینی و آب شرب در منطقه جهت رفیق تر شدن فلزات سنگین و کاهش سختی آب (TDS) پیشنهاد می گردد.

نتایج: تلفیق استفاده از روش MODFLOW در آب های زیر زمینی و تغذیه مصنوعی سفره های زیر زمینی در اثر پخش سیلاب و همچنین اختلاط آب سطحی حاصل از جمع آوری باران و برف با آب های زیرزمینی در مخازن تهیه شده، می توان انتظار داشت اثرات فلزات سنگین و سموم در آب شرب منطقه کاهش چشمگیری یابد.

نتیجه گیری: هرچند در این استان به طور طبیعی نیز لایه های حاوی فلزات سنگین وجود ندارد. نقاط استان فاصله زیادی بین شهرک ها و نواحی صنعتی و منابع آب زیرزمینی وجود دارد

با تزریق از طریق چاه احداث شده است(۵). برداشت سالانه حدود ۲۵۰ میلیون مترمکعب از منابع آبی دشت شهرکرد موجب افت شدید سطح ایستابی شده است. به گونه ای که در حد فاصل بین سال های ۷۲ تا ۸۳ سطح ایستابی بیش از ۱۳ متر نزول داشته و در زمرة آبخوان- های ممنوعه قرارگرفته است. پس از این سال با جلوگیری از برداشت بی رویه و کنترل بیلان آبخوان بخشی از پایین افتادگی سطح آب جبران شد، اما با کمبود بارندگی و وقوع خشکسالی های اخیر هنوز در شرایط بحرانی است. بنابراین، مطالعات امکان سنجی اجرای طرح های تغذیه در نقاط مختلف دشت انجام شده است(۴).

۲- روش تحقیق

معمولاً جهت مصارف مختلف از شاخص های آلودگی خاص استفاده می شود. برای ارزیابی درجه آلودگی آب به فلزات سنگین جهت مصارف شرب از شاخص هایی مانند شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) استفاده می شود. شاخص های HEI و HPI با توجه به غلظت سنجش شده فلزات سنگین در منطقه نسبت به حداکثر غلظت مجاز تعیین شده برای مصارف شرب، کیفیت کلی آب را ارائه می دهند. شاخص HPI یک روش برای رتبه بندی کیفیت آب براساس فلزات سنگین است(۶). با استفاده از این شاخص می توان اثر فلزات سنگین را بر سلامت انسان تعیین کرد. با محاسبه شاخص HEI نیز می توان نسبت به رتبه بندی کلی کیفیت آب براساس آلودگی فلزات سنگین و درک بهتر از شرایط کیفی آب اقدام کرد. از آنجایی که حداکثر حد مجاز کبالت توسط WHO مشخص نشده بنابراین در محاسبه شاخص های فوق از فلز کبالت استفاده نشده است. شاخص

رشد روزافزون جمعیت جهان همگام با گسترش فعالیت های کشاورزی و صنعتی در جهت افزایش تأمین مواد غذایی از یک سو و خشکسالی های پی در پی در سال های اخیر از سوی دیگر موجب شده است که منابع آب شیرین در اکثر کشورهای واقع در کمربند خشک جهان، به اوج بهره برداری خود برسند. این وضعیت بحرانی در مناطق خشک و نیمه خشک همچون بخش وسیعی از ایران که آب زیرزمینی منبع اصلی تأمین کننده آب محسوب می شود، بیشتر نمایان است(۱). تغذیه مصنوعی به منزله گزینه ای قابل بررسی می تواند خطرهای ناشی از بهره برداری بیش از حد و آلودگی سفره های آبدار را به طور مؤثری کاهش دهد و علاوه بر تقویت منابع آب تغذیه مصنوعی عبارت است از مجموعه عملیات و اقداماتی که برای افزایش نفوذ و هدایت آب های سطحی به سازندهای آبدار زیرزمینی و به منظور استفاده مجدد از آن ها صورت می پذیرد(۲). بهترین محل برای اجرای طرح های تغذیه مصنوعی، خاک های درشت بافت، ابتدای آبرفت های ماسه ای، خاک های سنگلاخی، مناطق کارستی، مسیل های با بستر شنی و مخروط افکنه رودخانه های فصلی است(۳). مکان یابی سیستم های تغذیه مصنوعی و به خصوص پخش سیلاب، از اصول اساسی ایجاد این سیستم هاست. انتخاب محل بر مبنای واقعی ت های علمی و طبیعی دارای بزرگ ترین نقش در جهت استحکام و کاربری این سیستم ها در راستای تحقق اهداف مربوطه است(۲). به پروژه های تغذیه مصنوعی از سال ۱۳۵۱ به منظور حفظ تعادل آب های زیرزمینی توجه شده است(۴). در عصر نوین، اولین طرح تغذیه مصنوعی در دشت ورامین و در سال ۱۳۵۲ مطالعه و اجرا در شبکه آبیاری ورامین و اولین بار طی سال های ۵۰ گرمسار و قزوین با روش حوضچه و پس از آن در دشت ناز ساری

ارزیابی فلزات سنگین (HEI) از معادله زیر به دست می آید (۷):

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{H_i^{max}}{H^c}$$

که در آن H^c مقدار اندازه گیری شده پارامتر H_i و $\max H$ حداکثر غلظت مجاز پارامتر H_i است. در صورتی که HEI کمتر از ۱۰ باشد درجه آلودگی کم، بین ۱۰ تا ۲۰ باشد درجه آلودگی متوسط و بیشتر از ۲۰ باشد درجه آلودگی زیاد است. HPI برای ایستگاه های مورد مطالعه بر مبنای استاندارد WHO از معادله زیر به دست می آید (۸):

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n w_i Q_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

در این معادله W_i نسبت وزنی آلاینده مولفه است که از طریق معکوس استاندارد (استاندارد سازمان بهداشت جهانی) محاسبه می شود. ($W_i = 1/s_i$) و Q_i نرخ کیفی آلاینده مولفه است که به صورت معادله زیر محاسبه می شود.

$$Q_i = \frac{M_i}{S_i} \times 100$$

در این معادله M_i غلظت مولفه i و S_i مقدار استاندارد مولفه i است. اگر $HPI > 100$ باشد آب به فلزات سنگین آلوده است. اگر $HPI = 100$ باشد، آب در آستانه خطر آلودگی به فلزات سنگین قرار دارد و اگر $HPI < 100$ باشد آب فاقد آلودگی به فلزات سنگین است.

محاسبات WQI شامل ۳ مرحله است (۹):

۱- در ابتدا وزن دهی انجام می شود و برای هر پارامتر باتوجه به اهمیت نسبی آن یک وزن خاص اختصاص داده می شود.

۲- در گام دوم وزن نسبی محاسبه می شود.

۳- در گام سوم مقیاس نرخ کیفیت محاسبه می شود. این مقیاس با تقسیم غلظت هر پارامتر در هر نمونه آب بر مقدار استاندارد آن پارامتر محاسبه می شود.

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100$$

که در آن C_1 غلظت و S_1 استاندارد هر پارامتر هر پارامتر شیمیایی در نمونه آب بر حسب میلی گرم بر لیتر است. سپس برای برآورد WQI پارامتر SI برای هر پارامتر شیمیایی محاسبه می شود.

$$SI_i = W_i \times q_i$$

$$WQI = \sum SI_i$$

مقدار WQI به دست آمده برای تعیین رتبه بندی کیفیت آب طبقه بندی می شود. در این طبقه بندی آب های با WQI کمتر از ۵۰ رده بسیار خوب، ۵۰ تا ۱۰۰ رده خوب، ۱۰۰ تا ۲۰۰ رده در رده خوب، ۲۰۰ تا ۳۰۰ رده در رده بسیار ضعیف و بالاتر از ۳۰۰ رده آب نامناسب برای آشامیدن قرار میگیرد (۱۰).

جدول ۱: وزن نسبی پارامترهای فیزیکوشیمیایی (استاندارد ۲۰۱۱، WHO)

پارامترهای شیمیایی	واحد	استاندارد WHO	وزن	نسبت وزنی
pH	-	۸/۵-۹/۵	۴	۰/۰۹۸
Hardness	mg/L	۵۰۰	۳	۰/۰۷۳
TDS	mg/L	۱۵۰۰	۵	۰/۱۲۲
Ca	mg/L	۳۰۰	۲	۰/۰۴۹
Mg	mg/L	۱۵۰	۱	۰/۰۲۴
K	mg/L	۱۲	۲	۰/۰۴۹
Na	mg/L	۵۰	۲	۰/۰۴۹
HCO ₃	mg/L	۱۲۰	۳	۰/۰۷۳
Cl	mg/L	۲۵۰	۳	۰/۰۷۳
SO ₄	mg/L	۲۵۰	۴	۰/۰۹۸
NO ₃	mg/L	۱۰	۴	۰/۰۹۸
BOD	mg/L	۵	۳	۰/۰۷۳
Coliform	MPN/۱۰۰ mL	-	۵	۰/۱۲۲
Total	-	-	۴۱	۱

۲-۱ تحلیل برداشت آب های زیرزمینی توسط مدل MODFLOW

در تحقیق حاضر از مدل MODFLOW برای تحلیل آبهای زیرزمینی استفاده شده که در آن از روش تفاضل محدود در حل معادلات دیفرانسیل حاکم استفاده شده است. اساس روش تفاضل های محدود در حل معادلات دیفرانسیل، جانشین نمودن مشتق های یک تابع در هر نقطه با تفاضل های آن متغیر در فاصله کوتاه و محدود است .

همچنین میتوان از برای شبیه سازی از تکنیک خوشه بندی در مهندسی آب استفاده نمود از آن جمله می توان به مطالعات کیفی آب سطحی، زیرزمینی و ... اشاره نمود.

۲-۲ واسنجی مدل در شرایط ماندگار و غیرماندگار

هر مدلی که برای شناخت و پیش بینی رفتار یک سامانه آب زیرزمینی انتخاب می شود، باید به خوبی تعریف شود. این تعریف باید مبتنی بر وضعیت مهندسی دقیق لایه آبدار یا سامانه مورد مطالعه اطلاعاتی درباره پارامترهای فیزیکی آن مرزها، ورودی ها و خروجی های آن باشد. تمام این اطلاعات باید از مدل مفهومی سامانه که بر اساس مطالعات صحرایی آزمایشگاهی و دفتری تهیه شده است، به دست آید. چنان چه اطلاعات مذکور در دسترس نباشد باید بر اساس تجربه و شناخت سامانه حدس زده شوند و سپس در طی فرآیند واسنجی اصلاح شوند. پس عمل واسنجی محل در واقع انطباق مقادیر شبیه سازی با مقادیر مشاهده شده مربوط به رفتار سامانه آبخوان از قبیل بار هیدرولیکی پمپاژ و تغذیه در گذشته است. واسنجی محل به دو شیوه امکان پذیر است. یا می تواند به روش سعی و خطا باشد و یا به روش خودکار توسط نرم افزارهای مربوطه انجام شود از معایب واسنجی به روش سعی و خطا وقت گیر بودن آن است ولی از مزایای آن این است که اگر توام با تطبیق با

واقعیت باشد آنگاه اطمینان به پارامترهای واسنجی شده از درصد بالایی برخوردار خواهد بود (۱۱). اولین مرحله در واسنجی مدل تعیین مقدار واسنجی می باشد. این مقدار عبارت از مقدار مشاهده نشده است که می تواند بار هیدرولیکی جریان یا شار هیدرولیکی و یا بیلان آب زیرزمینی باشد. مهم ترین و ساده ترین نوع مقدار واسنجی را تراز سطح آب زیرزمینی تشکیل می دهد. چون اندازه گیری آن ساده تر بوده و با خطای کم تری همراه است و نیز واسنجی آن راحت تر می باشد. دومین مرحله در واسنجی محل تعیین اهداف واسنجی است که شامل نوع مقدار واسنجی و خطای مربوط به آن می باشد. خطای واسنجی یا معیار خطا بستگی به نوع مقدار واسنجی دارد. اگر بار هیدرولیکی به عنوان مقدار واسنجی انتخاب شود، خطای آن در حد چند متر و کمتر از آن منظور می شود. ولی اگر جریان هیدرولیکی یا بیلان آب به عنوان مقدار واسنجی انتخاب شود خطای آن باید در حد کم تر از یک یا چند میلیون متر مکعب در سال باشد. البته لازم است که تمام موارد ذکر شده مدنظر قرار گیرند زیرا ممکن است در یک فرآیند مدل سازی در حین واسنجی به دسته جواب هایی دست یافت که بار هیدرولیکی شبیه سازی شده و مشاهده شده بر هم منطبق شوند، ولی میزان جریان ورودی و خروجی از مرزها و بیلان آب در محل با واقعیت منطبق نباشد (۱۲). در روش سعی و خطا جهت واسنجی، مدل باید با مرحله آنالیز باقیمانده ها توام باشد (آنالیز باقیمانده ها عبارت است از محاسبه اختلاف بین پارامترها یا متغیر شبیه سازی شده و مقدار مشاهده شده آن و تجزیه و تحلیل اختلاف موجود). آنالیز باقیمانده ها باید بر اساس یک سری محاسبات آماری صورت پذیرد. هر چقدر این اختلاف کوچکتر شود نشان دهنده انطباق و دستیابی بیش تر به اهداف واسنجی است. ولی در عمل به حداقل رساندن این اختلاف در تمام سلول های شبکه تقریباً غیرممکن است. معیار های آماری متعددی از قبیل

میانگین خطا میانگین قدر مطلق خطا و جذر میانگین مربعات خطا وجود دارد که می تواند مورد بررسی قرار گیرد.

به منظور بررسی چگونگی میزان واسنجی پارامتر مورد نظر در بخش های مختلف شبکه برای تشخیص این که کدام بخش ها از محل با واسنجی ضعیف و کدام بخش ها با واسنجی قوی همراه بوده اند، می توان سطح واسنجی و توزیع خطا را بررسی نمود. برای این منظور می توان سطح واسنجی را بسته به میزان واسنجی نمایش داد. در پایان مرحله واسنجی سامانه تحت بررسی دارای مدلی خواهد بود که تمام پارامترهای آن به خوبی تعریف شده اند و اکنون می توان با اطمینان از آن برای پی تشبینی رفتار آبخوان در آینده استفاده نمود. البته نباید انتظار داشت که مدل واسنجی شده همواره پاسخ منطبق بر واقعیت را نتیجه دهد، بلکه باید تفاوت هایی را انتظار داشت. این موضوع ناشی از آن است که برای رسیدن به محل یک سامانه واقعی فرضیات متعددی در نظر گرفته می شود. به منظور کاهش این تفاوت ها باید الف) محل ساخته شده تا حد امکان به سامانه شبیه سازی شده نزدیک تر باشد و ب) از حداکثر داده های واقعی در عمل واسنجی استفاده شود. در صورتی که معادله حاکم بر سامانه مورد مطالعه به صورت رابطه زیر باشد (۱۳):

$$\frac{\partial}{\partial x}(T_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(T_y \frac{\partial h}{\partial y}) + N(x, y, t) + R(x, y, t) - P(x, y, t) = S \frac{\partial h}{\partial t}$$

که R, N و P به ترتیب مقدار تغذیه طبیعی تغذیه مصنوعی و پمپاژ می باشد. آزمون پمپاژ یکی از روش های متعددی است که می توان از آن برای تعیین پارامترهای محل استفاده نمود. در هنگام عدم دسترسی به داده ها از راه های دیگر نتایج آزمون های پمپاژ می توانند در مدل های ناحیه ای به منظور پیش بینی رفتار یک آبخوان مورد استفاده قرار گیرند. همان گونه که

مطرح شد یکی از روش های واسنجی مدل روش واسنجی خودکار می باشد. نرم افزار PEST یکی از نرم افزارهایی است که برای واسنجی خودکار یک محل تهیه شده است. در واسنجی خودکار عمل واسنجی محل به دو طریق مستقیم و یا غیرمستقیم صورت می گیرد. در روش مستقیم پارامترهای مجهول (به عنوان مثال بار هیدرولیکی) به صورت یک متغیر مستقل رفتار می نماید، بدین صورت که باید مقدار بار هیدرولیکی که مجهول می باشد برای تمام گره ها تعریف شود. در صورتی که روش غیرمستقیم مشابه با روش سعی و خطا عمل می نماید که مساله به صورت پیش رو به طور تکراری حل می شود. یکی از مشکلات موجود در واسنجی مدل ها، مشکل تعدد پاسخ ها می باشد. به این معنی که مجموعه های مختلفی از مقادیر پارامترها ممکن است باعث نتایج یکسانی شوند. به این ترتیب هر ترکیبی از نرخ جریان و هدایت هیدرولیکی (k) در محل که دارای نسبتی مشابه با نسبت نرخ جریان به هدایت هیدرولیکی واقعی باشد، می تواند نتایج تقریباً یکسانی را ایجاد نماید. برای حل این مشکل روش های مختلفی توسط محققین پیشنهاد شده است. مجموعه داده هایی که برای واسنجی مدل در حالت غیر ماندگار استفاده می شوند، شامل داده های آزمایش پمپاژ و یا داده های چندین ساله بار هیدرولیکی که تغییرات و نوسانات فصلی را در برمی گیرند، می باشد. همچنین معمولاً محل ها ابتدا برای شرایط ماندگار واسنجی می شوند، سپس نتایج حاصل از واسنجی ماندگار به عنوان مقادیر اولیه در شبیه سازی محل در حالت غیر ماندگار به کار می روند. با اینکه مقادیر بار هیدرولیکی اندازه گیری شده به عنوان شرایط اولیه در محل غیر ماندگار وارد می شوند. باید در نظر داشت که در حالت اول یعنی در حالتی که مقادیر حاصل از واسنجی ماندگار به عنوان مقادیر اولیه در مدل غیرماندگار وارد می شوند، الزاماً شرایط واقعی سامانه در نظر گرفته نمی شود، هرچند این روش

به عنوان یک روش قابل قبول در محل سازی مطرح می باشد.

در پایان آزمایش؛ پردازش داده ها به کمک نرم افزار رایانه ای SPSS تجزیه واریانس شد و مقایسه میانگین داده ها غلظت عناصر مورد بررسی با رهنمود WHO با کمک آزمون تی تک نمونه ای، برای مقایسه میانگین غلظت فلزات بین فصول نمونه برداری از آزمون تی مستقل و برای تعیین همبستگی بین میانگین غلظت فلزات در نمونه ها و از طرفی شاخص ها با غلظت عناصر در نمونه ها از آزمون ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد و نمودارها توسط برنامه رایانه ای Excel ترسیم شد.

۳-۲ مدل کیفی MT3DMS در نرم افزار GMS

لازمه محاسبات کیفی آبخوان، انجام محاسبات کمی می باشد... به این معنا که لازم است تا با استفاده از کد کمی MODFLOW شبیه سازی سطح جریان صورت گرفته و سپس سوار بر محل کمی، محاسبات و شبیه سازی کیفی توسط مدل DMS^3MT انجام گردد. از مدل DMS^3MT می توان برای شبیه سازی کیفی آلودگی های موضعی، نظیر تشت از مخازن و یا نشت از محل دفن شیرابه و ... به سمت آب زیرزمینی استفاده کرد. در واقع یک ابزار شبیه سازی انتقال می باشد که جهت تصویر سازی عددی و بصری مقادیر گسترش ابر آلودگی های موضعی در آبخوان بکار می رود. به منظور توسعه مدل مفهومی DMS^3MT لازم است تا برخی از پارامترهای مهم آبخوان، نظیر ضریب پخشیدگی و تخلخل و ... در اختیار باشد. اهمیت این محل به دنبال دقت محاسبات کمی حاصل می گردد. بنابراین جهت مدل سازی انتشار آلودگی ناشی از شیرابه تجمع زباله در محل دفن پسماند شهری لازم است تا محل به درستی و اسنجی گردد.

روند محاسبات: ابتدا آمار و اطلاعات لازم در خصوص مشخصات آبخوان دشت مورد مطالعه، شامل اطلاعات هواشناسی، ریزش های جوی، درجه حرارت، رطوبت نسبی، تبخیر و اقلیم منطقه، سایر اطلاعات از قبیل آبهای سطحی، رودخانه های فصلی منطقه، مسیل ها و مشخصات زمین شناسی اخذ گردیده و سپس به مدل سازی آبخوان با استفاده از محل ریاضی MODFLOW پرداخته می شود. جهت تهیه مدل ریاضی آبخوان مراحل زیر طی خواهد شد.

تهیه مدل مفهومی سیستم آبخوان: طراحی و ساخت مدل شامل: شبکه بندی، تعیین شرایط مرزی، شرایط اولیه، پارامترهای هیدرولیکی آبخوان و تنش های هیدرولوژیکی کالیبراسیون محل با استفاده از تغییر پارامترهای هیدرولیکی آبخوان و تحلیل حساسیت مدل ریاضی نسبت به تغییر پارامترهای ورودی • صحت سنجی: نتیجه گیری، تعریف سناریو و تجزیه تحلیل نتایج بدست آمده و توسعه مدل مفهومی کیفی و انجام محاسبات MT3DMS جهت جمع آوری اطلاعات مورد نیاز، آمار بارندگی ماهانه ایستگاه های مختلف هواشناسی از اداره کل هواشناسی و آمار و نقشه های زمین شناسی و مشخصات و مقادیر ضرائب هیدرولیکی، حدود گسترش آبخوان، داده های چاه های بهره برداری و مشاهده ای، داده های دبی اندازه گیری شده رودهای فصلی و دائمی، حدود قرارگیری چاه ها و رودها از شرکت سهامی آب منطقه ای اخذ خواهد شد. اطلاعات مربوط به کیفیت آب در صورت نیاز از شرکت های آب منطقه ای و آب و فاضلاب شهری و روستایی اخذ خواهد شد. برحسب نیاز از جهاد کشاورزی و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری نیز استفاده خواهد شد. می توان پس از تهیه مدل مطلوب (واسنجی شده) اقدام به تعریف سناریوهای ایجاد ایستگاههای تغذیه مصنوعی در مکان های مختلف منطقه مورد نظر کرد و میزان

تاثیر این سناریو ها را بر کیفیت آب منطقه و میزان فلزات سنگی و مواد سمی بررسی کرد.

۳- نتایج

نتایج قرائت غلظت عناصر مورد بررسی در نمونه‌های آب زیرزمینی به تفکیک فصل، نتایج بررسی همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌ها به تفکیک فصل و همچنین نتایج محاسبه شاخصهای کیفیت آب در جداول شماره 1 تا 4 ارائه شده است.

نتایج آزمون تی تک نمونه ای بیانگر وجود اختلاف معنی دار آماری بین میانگین غلظت عناصر در نمونه های فصول بهار و تابستان با رهنمود WHO است ($P < 0.05$). بدین صورت که میانگین غلظت عناصر در هر دو فصل نمونه برداری کمتر از حد مجاز بود. این در حالیست که نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد بین میانگین غلظت عناصر آرسنیک، سرب و کادمیوم در نمونه های فصول بهار و تابستان به ترتیب با ضریب همبستگی برابر با 0.180 / 0.115 و -0.072 و P value - به ترتیب برابر با 0.449 ، 0.630 و 0.763 همبستگی معنی دار آماری وجود ندارد. نتایج بررسی همبستگی بین مقادیر شاخصها با غلظت فلزات سنگین حاکی از آن است که ارتباط معنی دار آماری ($P = 0.05$) سرب با ضریب همبستگی برابر با 0.997 ، 0.881 و 0.997 و کادمیوم با ضریب همبستگی برابر با 0.768 ، 0.969 و 0.768 به ترتیب با شاخص های Ca ، HPI و HEI بود. بنابراین، سرب و کادمیوم را می توان به عنوان پارامترهای اصلی ارزیابی کیفی آب در مطالعه حاضر محسوب کرد. این موضوع را می توان با غلظت تجمع یافته عناصر سرب و کادمیوم در نمونه ها در افزایش مقدار شاخص به دلیل استفاده بیش از حد از کودهای فسفاته و کودهای آلی و همچنین انتشار

فلزات بوپژه سرب ناشی از احتراق سوخت توسط خودروها مرتبط دانست. همچنین نتایج آزمون همبستگی پیرسون همبستگی معنی دار آماری ($P < 0.05$) مقادیر شاخصها بین فصول بهار و تابستان را تأیید نمود.

جدول ۲- میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه به تفکیک ایستگاه نمونه برداری بر حسب $\mu\text{g/l}$

ایستگاه	منگنز	مس	کروم	کادمیوم	سرب	روی	آرسنیک	۱۵	۲،۷۷	۲۵	۰،۰۱۹	۰،۱۱	۴،۵۸	۷۸،۵۴	۱،۱
۱	۱،۹	۸۹	۰،۰۵۲	۰،۰۹۲	۱،۴	۳۳،۵۳	۶،۲	۱۶	۱۲،۱۸	۲۴،۳	۰،۰۲۸	۰،۳۲	۶،۲	۲۰،۶۵	۴،۵۷
۲	۳،۸۴	۳۴،۵	۰،۱۰۳	۰،۱۴	۵،۸۹	۱۴،۵۷	۳،۱۶	۱۷	۲،۳۲	۲۶،۱	۰،۰۰۳۹	۰،۳۴	۴،۶۶	۲۱،۹۵	۱۰،۲۳
۳	۱،۸	۳۵،۵	۰،۰۵	۰،۰۴	۵،۹۱	۱۳،۹۹	۱،۹۲	۲۰	۲،۱	۲۵،۳	۰،۰۴۳	۰،۰۱	۶،۰۷	۲۹،۹۴	۷،۱۴
۴	۲،۰۳	۲۸،۴	۰،۰۴۸	۰،۱۸	۴،۹	۳۳،۲۶	۱۱،۸۳	۱۱	۲،۷۷	۲۵	۰،۰۱۹	۰،۱۱	۴،۵۸	۷۸،۵۴	۱،۱
۵	۲،۲۸	۳۶،۴	۰،۰۴۵	۰،۵۸	۹،۴۷	۳۳،۸۵	۶،۲۹	۱۶	۱۲،۱۸	۲۴،۳	۰،۰۲۸	۰،۳۲	۶،۲	۲۰،۶۵	۴،۵۷
۶	۲،۶۴	۲۴،۳	۰،۰۳۳	۰،۰۴	۴،۶۷	۳۴،۱۴	۶،۸۱	۱۷	۲،۳۲	۲۶،۱	۰،۰۰۳۹	۰،۳۴	۴،۶۶	۲۱،۹۵	۱۰،۲۳
۷	۲،۹	۲۰،۸	۰،۰۰۵۲	۰،۲۶	۴،۱۲	۵۱،۳۲	۵،۲۸	۱۸	۱۲،۱۸	۲۴،۳	۰،۰۲۸	۰،۳۲	۶،۲	۲۰،۶۵	۴،۵۷
۸	۳،۰۱	۵۶،۳	۰،۰۵۱	۰،۴۶	۹،۵۵	۲۷،۲۱	۵،۷۶	۱۹	۲،۳۲	۲۶،۱	۰،۰۰۳۹	۰،۳۴	۴،۶۶	۲۱،۹۵	۱۰،۲۳
۹	۱،۹۶	۳۵،۲	۰،۰۳	۰،۰۶	۸،۷۹	۱۰،۴۹	۴،۸۱	۲۰	۲،۱	۲۵،۳	۰،۰۴۳	۰،۰۱	۶،۰۷	۲۹،۹۴	۷،۱۴
۱۰	۶،۵۳	۲۳،۰۱	۰،۰۲۸	۰،۰۴	۴،۸۶	۲۰،۳۱	۲،۵۵	۲۱	۲،۳۲	۲۶،۱	۰،۰۰۳۹	۰،۳۴	۴،۶۶	۲۱،۹۵	۱۰،۲۳
۱۱	۱،۶۹	۲۵	۰،۰۳۴	۰،۱۷	۵،۸۳	۳۴،۲۱	۶،۰۳	۲۲	۲،۷۷	۲۵	۰،۰۱۹	۰،۱۱	۴،۵۸	۷۸،۵۴	۱،۱
۱۲	۲،۳۸	۲۷	۰،۰۵۶	۰،۰۴	۴،۱۱	۳۴،۰۱	۹،۵۵	۲۳	۲،۷۷	۲۵	۰،۰۱۹	۰،۱۱	۴،۵۸	۷۸،۵۴	۱،۱
۱۳	۴،۲۴	۲۶	۰،۰۲۲	۰،۱۹	۵،۹	۴۵،۳۷	۴،۳۴	۲۴	۲،۷۷	۲۵	۰،۰۱۹	۰،۱۱	۴،۵۸	۷۸،۵۴	۱،۱
۱۴	۲،۳۸	۲۴	۰،۰۲۱	۰،۳۱	۶،۱۳	۱۸،۶۵	۴،۴۶	۲۵	۲،۷۷	۲۵	۰،۰۱۹	۰،۱۱	۴،۵۸	۷۸،۵۴	۱،۱

جدول ۳- نتایج آزمون پیرسون برای بررسی همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در نمونه ها

عنصر	آرسنیک	روی	سرب	کادمیوم	کروم	مس	منگنز
آرسنیک	۱						
روی	۰،۱۱-۲	۱					
سرب	۰،۱۸-۷	۰،۲۸-۰	۱				
کادمیوم	۰،۰۱-۱	۰،۱۸-۶	۰،۷۳-۸	۱			
کروم	۰،۰۷-۸	۰،۳۲-۰	۰	۰،۰۱-	۱		
مس	۰،۰۰-۴۹	۰،۰۱-۶	۰،۰۹-۶	۰،۱۲-۲	۰،۲-۹۵	۱	
منگنز	۰،۰۳-۲۶	۰،۱۵-۵	۰،۰۷-۶	۰،۰۱-۱	۰،۰-۴۰	۰،۲۲-۵	۱

۴-۲ سیستم پیشنهادی مدل تغذیه مصنوعی

اصلی ترین متغیرهای موثر و بکاررفته در اکثر روش های تغذیه مصنوعی به خصوص در مدل این پژوهش شامل سطح ایستایی آبهای زیرزمینی (فاصله بین سطح زمین و سطح آب زیرزمینی، (WT، نفوذپذیری خاک^۳) (مسافت طی شده جریان یا حرکت آب از سطح خاک به داخل زمین در واحد زمان، (IR، شیب توپوگرافی (شیب و تغییرات سطح زمین، (TS، آلودگی و خصوصیت شیمیایی خاکه (میزان شوری و دیگر آلودگی هایی که قابل انتقال از طریق آب نفوذی به آبهای زیرزمینی می باشد، (SP، قابلیت هدایت هیدرولیکی (حجم آبی که می تواند در منطقه اشباع و غیر اشباع در واحد زمان از میانی سطحی واحد و عمود بر جهت جریان عبور کند، (HC، آلودگی آب زیرزمینی (میزان شوری و دیگر آلاینده های شاخص و غالب موثر بر آب تغذیه شده به آبخوان، GC و کاربری اراضی (نوع استفاده از زمین در وضعیت موجود، LU) می باشند که مقدار و نوع اهمیت هریک از پارامترها طبق جدول ۱ بر اساس تحقیقات انجام شده، نظرات کارشناسی و روش AHP در یک سیستم پیشنهادی در محدوده رتبه ۱ تا ۱۰ طبقه بندی گردیده است. در این روش برای ارزیابی تغذیه مصنوعی آبخوانها از سیستم پیشنهادی مدل تغذیه مصنوعی SMAGR طبق رابطه زیراستفاده می گردد که برای بدست آوردن آن به عامل درجه بندی و محدوده (جهت هم مقیاس سازی) مقدار پارامترهای مدل نیاز دارد.

$$SMAGR = \left(GC \times IR \times HC \times SP \times LU \times TS \times WT \right)^{\frac{1}{7}}$$

مبنای تهیه این مدل بر این اساس است که پارامترهای موثره به عنوان عامل محدود کننده تغذیه مصنوعی محسوب می شوند و در شرایط خارج از استاندارد مورد

نظر هر یک از پارامترها، شرایط را برای تغذیه مصنوعی بسیار ضعیف می گرداند از این رو از میانگین هندسی آنها استفاده شده است. با توجه به اینکه شرایط هیدروژئولوژی و زمین شناسی در مناطق مختلف متفاوت می باشد. وزن و رتبه های لایه های مدل می بایست متناسب با وضعیت هر منطقه ولی با در نظر گرفتن مبانی ارائه شده تصحیح شوند.

۴-۳ آلودگی آب زیرزمینی

آلودگی آب زیرزمینی یکی از پارامترهای بسیار مهم در تغذیه مصنوعی می باشد به طوریکه مناطقی از آبخوان که حتی تحت حرکت و نفوذ شوری آبهای زیرزمینی بیشتر از 4000 MS/cm در بعضی از فصول قرار دارند می توانند باعث تخریب کامل آب تغذیه شده به آبخوان شوند. جهت تهیه لایه کیفیت آبهای زیرزمینی با توجه به آلودگی نفوذ آب شور از پارامتر EC و توسط میانابایی روش اسپالین کششی در ArcGIS10.5 استفاده گردید. بر اساس نقشه حاصله حاشیه غربی آبخوان از کیفیت آب زیرزمینی مناسب تری برخوردار است.

بعد از واسنجی مدل در حالت ماندگار، مدل غیر ماندگار (با شرط اولیه سطح آب شبیه سازی شده در مهر ماه) ساخته و اجرا شد و با روش مشابه حالت ماندگار آزمون و خطا) با مقایسه سطح آب مشاهداتی و محاسباتی در محل ۱۵ پیژومتر در طول بازه زمانی شبیه سازی مدل به وسیله ضریب آبدهی ویژه و ضریب ذخیره ویژه، واسنجی شد. در ادامه نقشه مربوط به پهنه بندی مقادیر کالیبره شد؛ ضریب آبدهی ویژه نشان داده شده است. حداکثر، بیشترین مقدار ضریب آبدهی ویژه در نواحی جنوب غربی و تا حدودی در نواحی شمال شرق دشت می باشد.

جدول ۴- مقادیر کالیبره شده ضرایب هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، ذخیره ویژه و پراکندگی طولی و تخلخل مواد آبخوان

ماده	K(m/d)	S _y	S _s	D _L (m ² /d)	n(%)
Clay-cobble-sand	۳۲,۲	۰,۲۹	۰,۰۰۱۲ ۲	۴,۹۱	۳۲
Sand-gravel	۴۷,۹۵	۰,۲۵	۰,۰۰۰۰ ۲	۱۲,۳۶	۳۵
Clay-sand	۱۱,۳۲	۰,۱۴	۰,۰۰۱۳ ۳	۱۱	۳۶
Clay	۲,۷۹	۰,۰۳	۰,۰۰۲۴ ۶	۲۶,۳	۴۲
Clay-silt-sand	۱۴	۰,۰۸	۰,۰۰۰۳ ۶	۱۲,۰۱	۳۸
Clay-silt-sand-gravel	۳۴	۰,۰۹	۰,۰۰۰۷ ۹	۴۴,۱	۳۷
Gravel-clay-cobble-sand-silt	۳۱,۲	۰,۱۱	۰,۰۰۳۶ ۴	۱۱,۰۲	۳۴
Clay-silt	۵,۶	۰,۰۴ ۸	۰,۰۰۲۸	۱۴,۳۲	۴۳

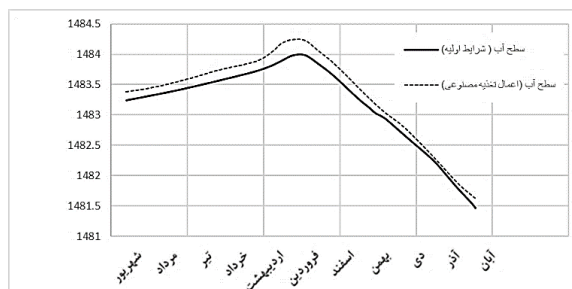
در قرائت سطح آب پیزومترها نیز بی تأثیر نیست. علت تفاوت ضرایب همبستگی ماهانه و ضرایب همبستگی در محل پیزومترها این است که: خطای مدل سازی در طول کل بازه زمانی یک ساله در محل هر پیزومتر) نسبت به یک ماه (در کل سطح آبخوان) نمود بیشتری پیدا می کند؛ همچنین دامنه تغییرات سطح آب در کل آبخوان از گستردگی بالایی برخوردار است. از نتایج سطح آب شبیه سازی شده در شهریورماه (خارج از بازه های زمانی) به جهت صحت سنجی مدل استفاده شد. که ضریب همبستگی داده ها برابر ۰/۹۸۶، $R^2 =$ و شیب خط رگرسیون برابر $y=0.0004x$ شد.

جدول ۵- مقادیر ضریب همبستگی و خطا در ماه های مختلف

ماه	ضریب همبستگی	معادله خط رگرسیون	میانگین خطا
آبان	۰,۹۹۳۳	$Y=0.9998x$	-۳۶
آذر	۰,۹۹۱۵	$Y=0.9994x$	-۹۰
دی	۰,۹۹۳۷	$Y=1.0003x$	۴۰
بهمن	۰,۹۹۲۴	$Y=0.9995x$	-۶۵
اسفند	۰,۹۹۰۱	$Y=0.9996x$	-۵۵
فروردین	۰,۹۸۹۳	$Y=0.9996x$	-۵۳
اردیبهشت	۰,۹۹۳۵	$Y=1.0001x$	۱۰
خرداد	۰,۹۹۲۴	$Y=0.9999x$	-۱۲
تیر	۰,۹۸۸۸	$Y=0.9995x$	-۶۸
مرداد	۰,۹۸۷۳	$Y=0.9997x$	-۵۰

با واسنجی مدل در حالت جریان غیر ماندگار، مقادیر سطح آب شبیه سازی شده با مدل MODFLOW با مقادیر سطح آب اندازه گیری شده در محل پیزومترها، در ماه های مختلف مقایسه و مقادیر ضریب همبستگی، شیب خط رگرسیون و میانگین خطا در ماه های دوره واسنجی در جدول آورده شده است. همچنین این بررسیها در محل هر پیزومتر در طول مدت زمان شبیه سازی به طور جداگانه انجام شد. البته به علت حجم بالای نتایج گرافیکی مقایسه سطح آب محاسباتی و مشاهداتی تنها در محل دو پیزومتر آورده شده است). با توجه به جدول ۴ و ۵، می توان گفت که شبیه سازی در طول بازه زمانی موفق بوده است و مدل توانسته با دقت بالایی سطح آب زیرزمینی را شبیه سازی کند. اختلاف بین سطح آب شبیه سازی و اندازه گیری شده به علت خطای مدل سازی (خطا در تقریب پارامترهای ورودی مدل) است. البته خطای ابزاری و انسانی

تغذیه مصنوعی آبخوان ها به عنوان راهبردی برای تقویت و توسعه منابع آب زیرزمینی و جبران زیانهای

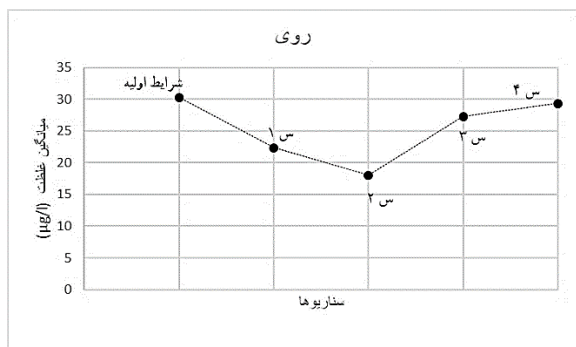


شکل ۱- تاثیر تغذیه مصنوعی بر میزان سطح آب منطقه

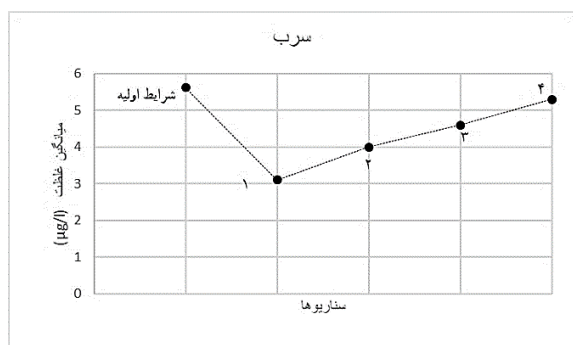
پس از اجرای مدل توزیع غلظت محاسباتی در اطراف محل چاه فاضلاب یا همان منبع تزریق نقطه ای قابل مشاهده است. فاصله از محل چاه فاضلاب یا همان منبع نقطه ای غلظت را که از آن فاصله به بعد غلظت تغییرات نداشت و مقدار آن برابر با همان مقادیر اولیه قبل از تزریق بود به عنوان شعاع تأثیر در نظر گرفته شد. با توجه به شرایط جذب و دفع سطحی و تجزیه یکسان در کل آبخوان میزان شعاع تأثیر این چاههای فاضلاب تقریباً یکسان و در حدود ۲۰۰-۱۵۰ متر بعد از یک سال بوده است. البته این مقدار در جهت جریان آب زیرزمینی بیشتر است. شکل ۱۷ وضعیت تأثیر این نوع آلاینده را بر آبخوان نشان میدهد. با توجه به شکل مذکور چاههای فاضلاب در مدت زمان یک سال، شعاع ۱۵۰ تا ۲۰۰ متری اطراف خود را تحت تأثیر انتشار آلودگی قرار می دهند. بنابراین با توجه به اینکه در منطقه مورد نظر چند وقت یک بار، چاه های فاضلاب تخلیه می شود؛ می توان محدوده مجاز برای حفاری چاههای پمپاژ یا برعکس محدوده مجاز برای حفاری چاه های فاضلاب را تعیین کرد. در نواحی مرتفع که البته سرعت جریان آب زیرزمینی بیشتر از سایر نواحی است، انتقال آلاینده ها تحت تأثیر فرآیند همرفت قرار دارد و پراکندگی آلودگی بسیار ناچیز میباشد.

در ادامه میزان تغییر و درصد کاهش هریک از عناصر برای چهار سناریوی در نظر گرفته شده و همچنین

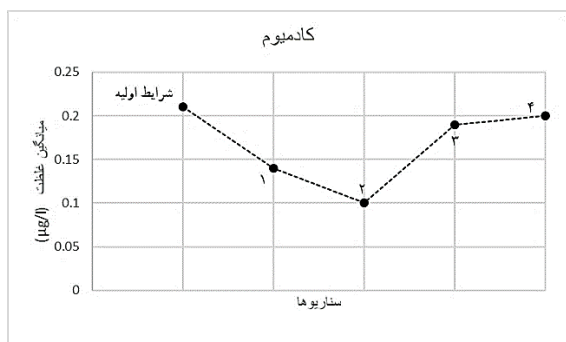
وارد به آنها جهت ذخیره سازی و به هنگام کردن جریان های سطحی به شمار می آید. محققان علوم آب هزینه پروژه های سدسازی تغذیه مصنوعی را در جهان مطالعه نموده و با رسم منحنی های لگاریتمی هزینه ها در مقابل حجم رواناب قابل ذخیره به این نتیجه رسیده اند که برای حجم های کمتر از ۳۰ میلیون متر مکعب، اجرای پروژه های تغذیه مصنوعی از نظر اقتصادی به صرفه تر از سدسازی می باشد. روش های کلی تغذیه مصنوعی عبارتند از: سطحی (نفوذ دادن) و زیرزمینی (تزریق کردن). در ثانیه جهت اعمال طرح تغذیه مصنوعی در مدل منظور شد به گونه ای که پراکنش خوبی در کل منطقه به خصوص در نقاطی بانفوذپذیری مناسب نتایج متوسط سطح آب شبیه سازی شده با اعمال طرح تغذیه مصنوعی در ماه های مختلف با حالت بدون تغذیه مقایسه و نتایج در شکل ۱۴ آورده شده است. نتایج بیانگر پاسخ مثبت آبخوان به طرح تغذیه بوده و کمترین مقدار افزایش سطح آب ۳ سانتی متر در آذرماه و بیشترین مقدار ۱۹ سانتی متر در فروردین ماه می باشد. نتایج در محل پیژومترها با هم مقایسه و در جدول ۶ آورده شده است. سطح آب در محل پیژومترهای نواحی مرزی و نسبتاً مرتفع و اغلب با نفوذپذیری کم (خاک لوم رسی)، در اثر تغذیه هیچ گونه تغییری نکرده است. از طرفی بیشترین میزان افزایش سطح آب در اثر تغذیه ۲۶ و ۲۰ سانتی متر در طول دوره ۱۲ ماهه به ترتیب در محل پیژومترهای در جهت شیب غالب منطقه جنوب شرقی به شمال غربی) و مجاورت با رودخانه و نفوذپذیری مناسب اتفاق افتاده است.



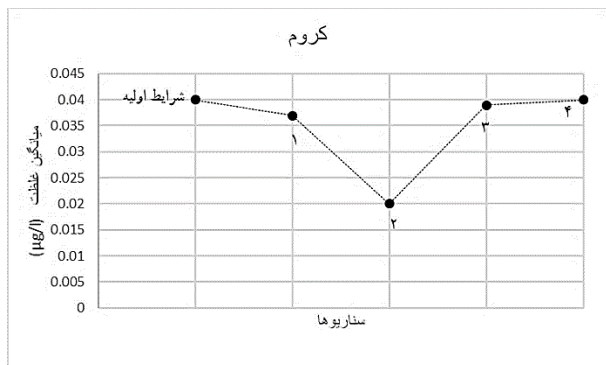
شکل ۳ فلز روی



شکل ۴ فلز سرب



شکل ۵ فلز کادمیوم

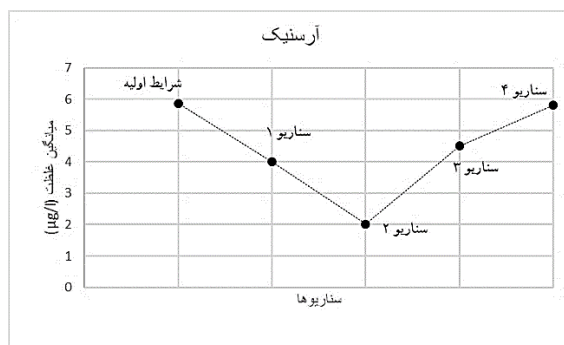


شکل ۶ فلز کروم

مقایسه با شرایط اولیه (قبل از اعمال سناریوهای تغذیه مصنوعی) به تفکیک برای هر عنصر نشان داده شده است. مشاهده می شود که در اکثر حالات سناریوی ۲ سبب کاهش غلظت بیشتری شده است که این می تواند به دلیل شیب منطقه و شرایط هیدرودینامیک باشد که می تواند به خوبی آب تغذیه شده را در سطح گسترده تری پخش نماید.

جدول ۱- مقایسه استانداردهای آب آشامیدنی

نام	واحد	تحقیقات صنعتی (تجدید نظر ۱۰۵۳)	وزارت نیرو ۱۳۷۲	WHO	۲۰۱۰	۲۰۰۲	۱۹۹۳
حد مجاز	حد مجاز	حد مجاز	حد مجاز	حد مجاز	حد مجاز	حد مجاز	حد مجاز
حد مطلوب	حد مطلوب	حد مطلوب	حد مطلوب	حد مطلوب	حد مطلوب	حد مطلوب	حد مطلوب
کدورت	NTU	۵	۵	۵	۵	۵	۵
رنگ	TCU	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
سولفات	mg/L	۲۵۰	۲۵۰	۴۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰
سدیم	mg/L	۲۰۰	۲۰۰	-	۲۰۰	-	۲۰۰
آلومینیوم	mg/L	۱۰۰	۲۰۰	-	۲۰۰	۲۰۰	۳۰۰
نیترات	mg/L	-	۵۰	۰/۰	۲۵	۵۰	۵۰
آهن	mg/L	۳۰۰	-	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰	۴۰۰
منگنز	mg/L	۱۰۰	۴۰۰	۵۰	۵۰	۵۰۰	۲۰۰
نقره	mg/L	۱	-	۵۰	-	-	-
آرسنیک	mg/L	-	۱۰	-	۵۰	۱۰	۱۰
کادمیم	mg/L	-	۳	-	۱۰	۳	۳
سیانور	mg/L	-	۷۰	-	۵۰	۷۰	-
سرب	mg/L	-	۱۰	۰/۰	۱۰۰	۱۰	۱۰
تراکلرید کربن	mg/L	-	-	-	-	۴	۴
لیدان	mg/L	-	۲	-	۳	-	۳
سدنی	CaCO ₃	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰
TDS	mg/L	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۵۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰

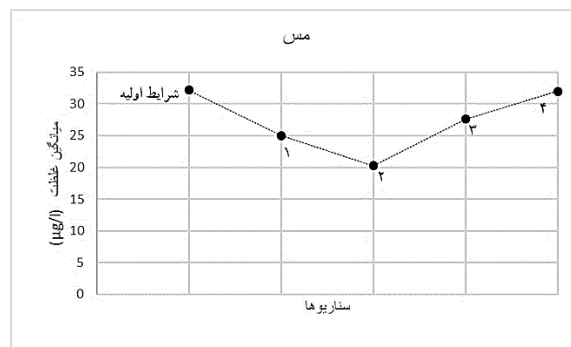


شکل ۷ فلز آرسنیک

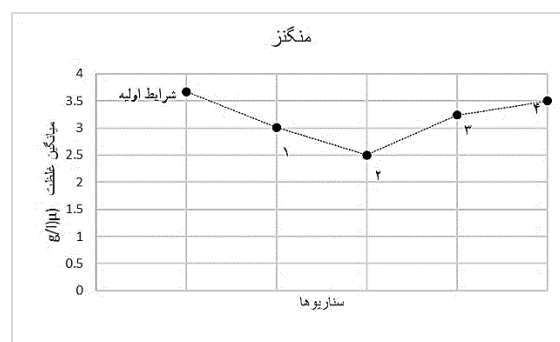
ندارد. نقاط استان فاصله زیادی بین شهرک ها و نواحی صنعتی و منابع آب زیرزمینی وجود دارد .

منابع

1. Valavanidis A, Vlachogianni T. Metal pollution in ecosystems. Ecotoxicology studies and risk assessment in the marine environment. Dept of Chemistry, University of Athens University Campus Zografou. 2010;15784.
2. Osibanjo O, Majolagbe AO. Physicochemical quality assessment of groundwater based on land use in Lagos city, southwest, Nigeria. Chem J. 2012;2(2):79-86.
3. Buschmann J, Berg M, Stengel C, Winkel L, Sampson ML, Trang PTK, et al. Contamination of drinking water resources in the Mekong delta floodplains: Arsenic and other trace metals pose serious health risks to population. Environment International. 2008;34(6):756-64.
4. Eslami F, Shokoohi R, Mazloomi S, Darvish Motevalli M, Salari M. Evaluation of water quality index (WQI) of groundwater supplies in Kerman Province in 2015. Occupational and Environmental Health. 2017;3(1):48-58.
5. Rajaei G, Hassanpor M, Mehdinejad M. Heavy Metals Concentration (Zinc, Lead, Chrome and Cadmium) in Water and Sediments of Gorgan Gulf and Estuarine Gorganroud River, Iran. 2. 2012;8(5):748-56. eng.
6. Adomako D, Nyarko B, Dampare S, Serfor-Armah Y, Osae S, Fianko J, et al. Determination of toxic elements in waters and sediments from River Subin in the Ashanti Region of Ghana. Environmental Monitoring and Assessment. 2008;141(1-3):165-75.
7. Ahmed K, Mehedi Y, Haque R, Mondol P. Heavy metal concentrations in some macrobenthic fauna of the Sundarbans mangrove forest, south west coast of Bangladesh. Environmental monitoring and assessment. 2011;177(1-4):505-14.
8. Akcay H, Oguz A, Karapire C. Study of heavy metal pollution and speciation in Buyak Menderes and Gediz river sediments. Water research. 2003;37(4):813-22.
9. Al-Juboury A. Natural pollution by some heavy metals in the Tigris River, Northern Iraq. International Journal of Environmental Research. 2009;3(2):189-98.
10. Ebrahimpour M, Mushrifah I. Heavy metal concentrations (Cd, Cu and Pb) in five aquatic plant species in Tasik Chini, Malaysia. Environmental geology. 2008;54(4):689-98.



شکل ۷ فلز مس



شکل ۸ فلز منگنز

۴- نتیجه گیری

میانگین غلظت فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی منطقه مورد نظر را در فاصله زمانی سال های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که از نمودار ها و نقشه ها مشخص گردید اگرچه غلظت اکثر فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی منطقه در حد خیلی خوب از استانداردهای ملی، سازمان جهانی بهداشت و اتحادیه اروپا قرار ندارد. اما می توان گفت که می زان آن قابل قبول است. علت این امر عمق زیاد منابع آب استان سمنان و در نتیجه وجود زمان کافی برای تصفیه آلودگی های ورودی احتمالی به زمین در اثر فعالیت های صنعتی مختلف می باشد. هرچند در این استان به طور طبیعی نیز لایه های حاوی فلزات سنگین وجود

11. Ghrefat H, Yusuf N. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. Chemosphere. 2006;65(11):2114-21.
12. Yang H, Rose N. Trace element pollution records in some UK lake sediments, their history, influence factors and regional differences. Environment international. 2005;31(1):63-75.
13. Zhang Y, Sun S, Olsen SC, Dubey MK, He J. CCSM3 simulated regional effects of anthropogenic aerosols for two contrasting scenarios: rising Asian emissions and global reduction of aerosols. International journal of climatology. 2011;31(1):95-114.

۶,۲۹	۳۳,۸۵	۹,۴۷	۰,۵۸	۰,۰۴۵	۳۶,۴	۲,۲۸	۵
۶,۸۱	۳۴,۱۴	۴,۶۷	۰,۰۴	۰,۰۳۳	۲۴,۳	۲,۶۴	۶
۵,۲۸	۵۱,۳۲	۴,۱۲	۰,۲۶	۰,۰۰۵۲	۲۰,۸	۲,۹	۷
۵,۷۶	۲۷,۲۱	۹,۵۵	۰,۴۶	۰,۰۵۱	۵۶,۳	۳,۰۱	۸
۴,۸۱	۱۰,۴۹	۸,۷۹	۰,۶	۰,۰۳	۳۵,۲	۱,۹۶	۹
۲,۵۵	۲۰,۳۱	۴,۸۶	۰,۰۴	۰,۰۲۸	۲۳,۰۱	۶,۵۳	۱۰
۶,۰۳	۳۴,۲۱	۵,۸۳	۰,۱۷	۰,۰۳۴	۲۵	۱,۶۹	۱۱
۹,۵۵	۳۴,۰۱	۴,۱۱	۰,۰۴	۰,۰۵۶	۲۷	۲,۳۸	۱۲
۴,۳۴	۴۵,۳۷	۵,۹	۰,۱۹	۰,۰۲۲	۲۶	۴,۲۴	۱۳
۴,۴۶	۱۸,۶۵	۶,۱۳	۰,۳۱	۰,۰۲۱	۲۴	۲,۳۸	۱۴
۱,۱	۷۸,۵۴	۴,۵۸	۰,۱۱	۰,۰۱۹	۲۵	۲,۷۷	۱۵
۴,۵۷	۲۰,۶۵	۶,۲	۰,۳۲	۰,۰۲۸	۲۴,۳	۱۲,۱۸	۱۶
۱۰,۲۳	۲۱,۹۵	۴,۶۶	۰,۳۴	۰,۰۰۳۹	۲۶,۱	۲,۳۲	۱۷
۷,۶	۲۳,۷	۴,۴۲	۰,۱	۰,۰۴۸	۲۵,۳	۹	۱۸
۷,۱۱	۲۵,۵۹	۴,۸۶	۰,۰۶	۰,۰۵۲	۲۴,۰۱	۵,۰۱	۱۹
۷,۱۴	۲۹,۹۴	۶,۰۷	۰,۰۱	۰,۰۴۳	۲۵,۳	۲,۱	۲۰

Table 3 - Pearson test results to examine the correlation between heavy metal concentrations in samples

عنصر	آرسنیک	روی	سرب	کادمیوم	کروم	مس	منگنز
آرسنیک	۱						
روی	-۰,۱۱۲	۱					
سرب	-۰,۱۸۷	-۰,۲۸۰	۱				
کادمیوم	۰,۰۱۱	-۰,۱۸۶	۰,۷۳۸	۱			
کروم	۰,۰۷۸	-۰,۳۲۰	۰	-۰,۰۱	۱		
مس	۰,۰۰۴۹	-۰,۱	-۰,۰۹۶	۰,۱۲۲	۰,۲۹۵	۱	
منگنز	۰,۰۳۲۶	-۰,۱۵۵	-۰,۰۷۶	۰,۰۱۱	۰,۰۴۰	-۰,۲۲۵	۱

Table 4 - Calibrated values of hydraulic conductivity, specific discharge, specific

Table 1: Relative weight of physicochemical parameters (standard, WHO, 2011)

پارامترهای شیمیایی	واحد	استاندارد WHO	وزن	نسبت وزنی
pH	-	۸/۵-۶/۵	۴	۰/۰۹۸
Hardness	mg/L	۵۰۰	۳	۰/۰۷۳
TDS	mg/L	۱۵۰۰	۵	۰/۱۲۲
Ca	mg/L	۲۰۰	۲	۰/۰۴۹
Mg	mg/L	۱۵۰	۱	۰/۰۲۴
K	mg/L	۱۲	۲	۰/۰۴۹
Na	mg/L	۵۰	۲	۰/۰۴۹
HCO ₃	mg/L	۱۲۰	۳	۰/۰۷۳
Cl	mg/L	۲۵۰	۳	۰/۰۷۳
SO ₄	mg/L	۲۵۰	۴	۰/۰۹۸
NO ₃	mg/L	۱۰	۴	۰/۰۹۸
BOD	mg/L	۵	۳	۰/۰۷۳
Coliform	MPN/۱۰۰mL	-	۵	۰/۱۲۲
Total	-	-	۴۱	۱

Table 2- Average concentration of studied elements by sampling station in terms of $\mu\text{g/l}$

ایستگاه	منگنز	مس	کروم	کادمیوم	سرب	روی	آرسنیک
۱	۱,۹	۸۹	۰,۰۵۲	۰,۰۹۲	۱,۴	۳۳,۵۳	۶,۲
۲	۳,۸۴	۳۴,۵	۰,۱۰۳	۰,۱۴	۵,۸۹	۱۴,۵۷	۳,۱۶
۳	۱,۸	۳۵,۵	۰,۰۵	۰,۰۴	۵,۹۱	۱۳,۹۹	۱,۹۲
۴	۲,۰۳	۲۸,۴	۰,۰۴۸	۰,۱۸	۴,۹	۳۳,۲۶	۱۱,۸۳

Table 5 - Comparison of drinking water standards

storage and longitudinal dispersion and
porosity of aquifer materials

n(%)	D _L (m ² /d)	S _S	S _y	K _m (m/d)	صنفة
٣٢	٤,٩١	٠,٠٠١٢٢	٠,٢٩	٣٢,٢	Clay-cobble-sand
٣٥	١٢,٣٩	٠,٠٠٠٠٢	٠,٢٥	٤٧,٩٥	Sand-gravel
٣٦	١١	٠,٠٠١٣٣	٠,١٤	١١,٣٢	Clay-sand
٤٢	٢٩,٣	٠,٠٠٢٤٦	٠,٠٣	٢,٧٩	Clay
٣٨	١٢,٠١	٠,٠٠٠٣٦	٠,٠٨	١٤	Clay-silt-sand
٣٧	٤٤,١	٠,٠٠٠٧٩	٠,٠٩	٣٤	Clay-silt-sand-gravel
٣٤	١١,٠٢	٠,٠٠٣٦٤	٠,١١	٣١,٢	Gravel-clay-cobble-sand-silt
٤٣	١٤,٣٢	٠,٠٠٢٨	٠,٠٤٨	٥,٦	Clay-silt

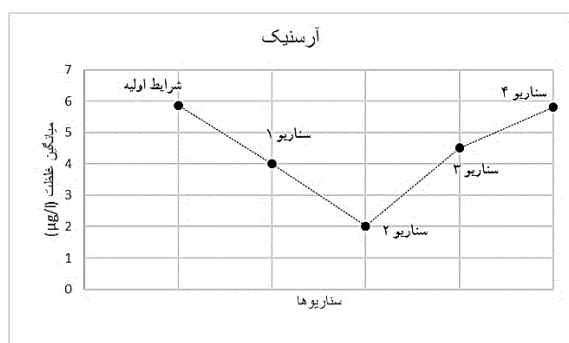


Figure 2 Arsenic metal

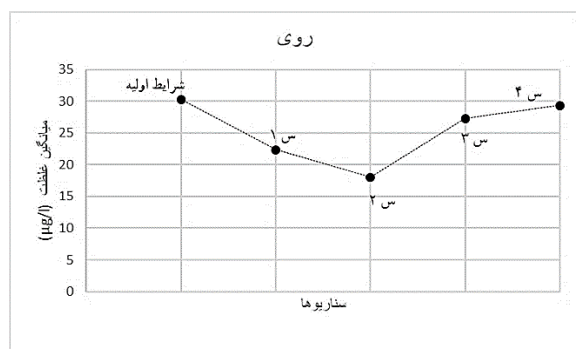


Figure 3 Zinc metal

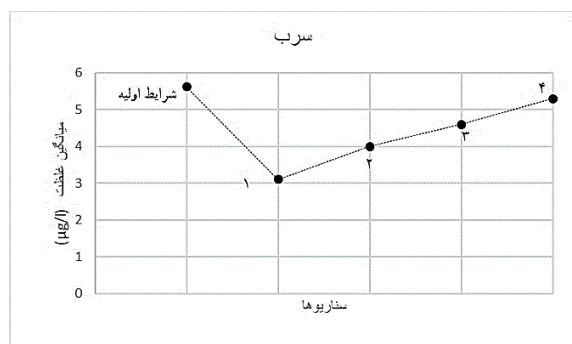
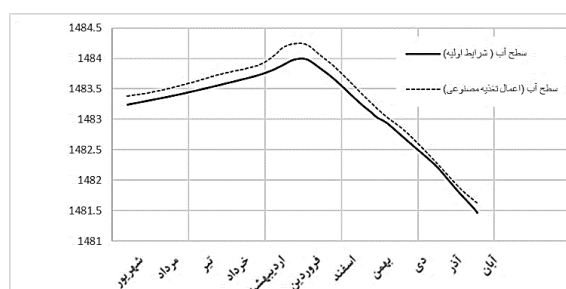


Figure 4 Lead metal

Table 5 - Correlation coefficient and error values in different months

ماه	ضریب همبستگی	معادله خط رگرسیون	میانگین خطا
آبان	۰,۹۹۳۳	$Y=0.9998x$	-۳۶
آذر	۰,۹۹۱۵	$Y=0.9994x$	-۹۰
دی	۰,۹۹۳۷	$Y=1.0003x$	۴۰
بهمن	۰,۹۹۲۴	$Y=0.9995x$	-۶۵
اسفند	۰,۹۹۰۱	$Y=0.9996x$	-۵۵
فروردین	۰,۹۸۹۳	$Y=0.9996x$	-۵۳
اردیبهشت	۰,۹۹۳۵	$Y=1.0001x$	۱۰
خرداد	۰,۹۹۲۴	$Y=0.9999x$	-۱۲
تیر	۰,۹۸۸۸	$Y=0.9995x$	-۶۸
مرداد	۰,۹۸۷۳	$Y=0.9997x$	-۵۰



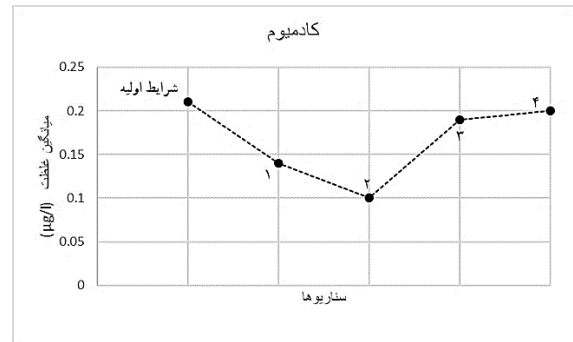


Figure 5 Cadmium metal

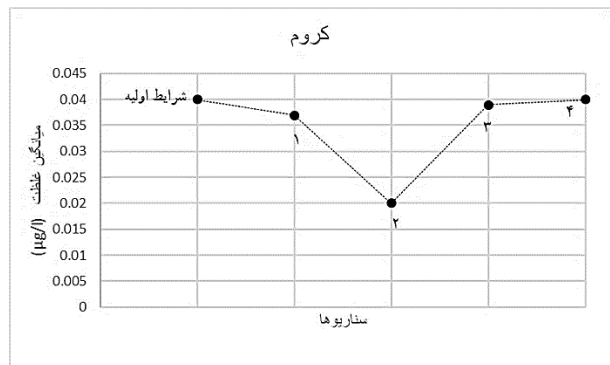


Figure 6 Chrome metal

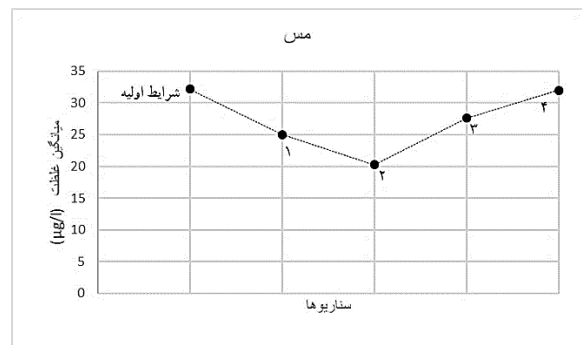


Figure 7 Copper metal

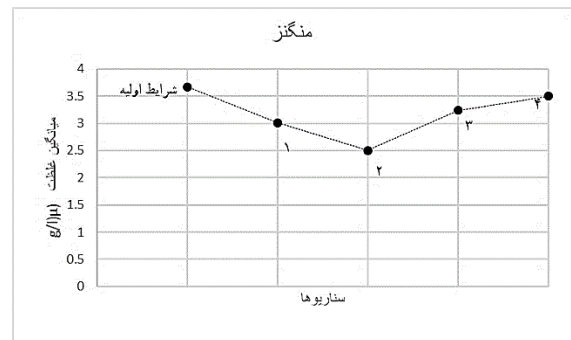


Figure 8 Manganese metal

