اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۸، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۱۱۷۱-۱۱۶۳

مدل‌سازی میزان تاب‌آوری چاه‌های آب شرب شهرستان مراغه در برابر آلودگی نیترات و فسفات

مقصود امیرپور[۱]، حسین یوسفی[۲]، ناصر عبادتی[۳*]، سیّدحسین هاشمی[۴]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب

۲. دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

۳. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلام‌شهر

٤. دانشیار گروه فناوری‌های محیط زیست، پژوهشکدهٔ علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران

(تاریخ دریافت ۱٤۰۰/۰۷/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱٤۰۰/۱۲/۰۹)

چکیده

بررسی مسئلهٔ تاب‌آوری چاه‌های آب شرب و ارائهٔ مدلی بهینه در تعیین حریم کیفی آنها، یکی از ابزارهای مهم مدیریت و حفاظت از منابع ارزشمند آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شود. در این مقاله از مدل دراستیک برای ارزیابی تاب‌آوری بر مبنای آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان بر اساس مدل MODFLOW و ردیابی حرکت ذرات در آبخوان به وسیلهٔ MODPATH برای تعیین ناحیهٔ گیرش چاه‌ها استفاده شده است. با تلفیق نتایج هر دو مدل در محیط GIS نقشهٔ ریسک آلودگی و میزان تاب‌آوری چاه‌های آب شرب در محدودهٔ شهرستان مراغه به صورت ناحیه‌ای و در محدودهٔ ناحیهٔ گیرش چاه‌های آب شرب تعیین شد. همچنین، تعیین تاب‌آوری بر اساس آسیب‌های ناشی از آلاینده‌ها به آبخوان در محدودهٔ حریم کیفی چاه‌ها از یک مدل ارزیابی کیفی بر اساس آلاینده‌ها برای تعیین دقیق‌تر حریم کیفی استفاده شد. بیشتر چاه‌های شرب موجود در محدوده با تاب‌آوری کمتر با کاربری اراضی کشاورزی بود. میزان نیترات در چاه‌های آب شرب مراغه به طور میانگین ۷/۳ mg/L بوده که پایین از حد استاندارد است. میزان فسفات نیز به طور میانگین ۰/۳۵ mg/L بوده که بالاتر از حد استاندارد آن است. با توجه به تعیین حریم کیفی چاه شرب در سال‌های مختلف باید حریم کیفی بزرگ‌تری (ده‌ساله) برای چاه‌های این مناطق در نظر گرفته شود. برای مناطق با تاب‌آوری زیاد و کاربری‌های اراضی دیگر می‌توان حریم حفاظتی کوچک‌تری اعمال کرد.

واژه‌های کلیدی: تاب‌آوری، فسفات، نیترات، MODFLOW، MODPATH

* نویسندهٔ مسئول
Email: drebadati@iiau.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر گسترش شهرها و شهرک‌سازی‌های صورت‌گرفته در نقاط مختلف موجب نزدیک شدن مناطق مسکونی، واحدهای صنعتی و کشاورزی به چاه‌های آب شرب و تأمین عمدهٔ آن از منابع آب زیرزمینی شده است، به طوری که یکی از اجزای مهم برنامهٔ «مراقبت‌های اولیه بهداشتی[1]» سازمان جهانی بهداشت (WHO)[2] و یکی از اهداف توسعهٔ پایدار[3] تأمین آب آشامیدنی تمیز کافی و بهداشتی است. کیفت پایین آب آشامیدنی می‌تواند باعث ایجاد مشکلات سلامتی و بیماری‌زایی در انسان شود، به طوری که ۸۰ درصد بیماری‌های انسان در سراسر جهان منتسب به کیفیت پایین آب آشامیدنی است [۱ و ۲]. به این‌ترتیب، افزایش جمعیت، کاهش نزولات آسمانی، افزایش دمای کرهٔ زمین (به‌خصوص به دلیل آلودگی) و برداشت روزافزون آب از مخازن زیرزمینی، باعث کاهش کمّی و زوال کیفی این منابع شده است [۳]. نیترات و فسفات دو آلایندهٔ عمدهٔ آب‌های زیرزمینی هستند که منشأ اصلی آن‌ها فاضلاب شهری و فعالیت‌های کشاورزی است. نیترات به عنوان شاخص آلودگی آب‌های زیرزمینی همواره مورد توجه محققان بوده است. بیشتر موارد رخداد آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی با فاضلاب‌های کشاورزی و استفاده از کودهای نیتروژنه در ارتباط است [۴-۶]. از دیگر عناصری که منجر به کاهش کیفیت منابع آبی می‌شود، فسفات است. فسفات‌ها به صورت وسیعی به عنوان مکمل کودهای شیمیایی در زمین‌های زراعی مورد استفاده می‌گیرند و بر اثر آب‌شویی وارد آب‌های سطحی می‌شوند یا به آب‌های زیرزمینی راه می‌یابند. فاضلاب شهری نیز به عنوان یکی از راه‌های ورود فسفات به منابع آبی محسوب می‌شود. با اینکه فسفات‌ها مواد سمی نیستند و هیچ‌گونه تهدید مستقیمی را متوجه انسان نمی‌کنند، اما به طور غیرمستقیم باعث کاهش اکسیژن محلول آب، ایجاد طعم، بو و مزاحمت در فرایند تصفیه می‌شوند [۷].

مفاهیم جدید در دهه‌های اخیر به‌شدت با محیط زیست پیوند یافته تا مردم جهان به ساختن محیط زیست بهتر ترغیب شوند. توسعهٔ پایدار منابع آب نیز استثنا نبوده و به شکل گسترده‌ای با نظریه‌های نوین به‌ویژه تاب‌آوری گره خورده است، زیرا منابع تاب‌آور آب دارای ظرفیت کاهش پیامدهای ناشی از اختلال‌ها حمایت از کیفیت محیط زیست و تأمین نیازهای انسان در طولانی‌مدت است [۸ و ۹]. بنابراین، حساسیت بر حفاظت کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی در تأمین آب شرب ساکنان یک منطقه از چاه‌ها دوچندان شده است؛ چراکه محاسبهٔ بهینه بر مبنای مدل‌سازی‌های علمی بر خطر آلودگی آب چاه‌ها و اتلاف هزینه‌ها تأثیرگذار است. از سوی دیگر، تعیین آستانهٔ حد مجاز آلودگی و ظرفیت خودپالایی آب شرب چاه‌ها و به بیانی، تاب‌آوری کیفی آب شرب چاه‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. در این مطالعه، مبانی علمی و معیارهای محاسبه برای چاه‌های آب شرب شهرستان مراغه با تأکید بر حد و آستانهٔ کیفی منابع آب شرب تحت رویکرد تاب‌آوری مورد توجه قرار گرفته است.

در چندین سال اخیر، روش‌ها و مدل‌های متفاوتی در زمینهٔ تاب‌آوری منابع آب زیرزمینی مورد بررسی محققان قرار گرفته است. اطلاعات مربوط به تجربیات کشورهای مختلف دنیا از طریق جست‌وجو در مجلات علمی-پژوهشی، کتاب‌ها و سایت‌های اینترنتی جمع‌آوری شده است و تاب‌آوری منابع آب زیرزمینی در راستای طرح‌های حفاظت از منابع آب زیرزمینی صورت گرفته‌اند. عمده‌ترین طرح‌های حفاظت منابع آب زیرزمینی در ایالات متحدهٔ آمریکا، کشورهای اروپایی، کانادا و استرالیا انجام شده است. نیکولوپولوس و همکاران (۲۰۱۹) حد کیفی سیستم‌های آب شهری در یک مقیاس دقیق و واقعی را بررسی کرده و مفهوم حد کیفی و روش شناسایی و ارزیابی عوامل کیفی در تصمیم‌گیری طولانی‌مدت و پشتیبانی از برنامه‌ریزی استراتژیک فراساختارهای آبی را تشریح کردند [۱۰]. نتایج تعیین حریم حفاظتی چاه‌های آب شهر از سوی استفان و کرامر (۲۰۱۸) نشان داد مدل‌سازی ژئوهیدرولوژیک چاه‌های پمپاژ ثابت، از جمله نفوذ مرزهای هیدرولوژیکی مانند رودخانه‌ها، بارگیری مجدد، شرایط بدون جریان و ناحیه‌های نامتقارن با استفاده از روش عنصر تحلیلی امکان‌پذیر بوده که از خط مسیر شیب معکوس مربوط به زمان معینی از مرکز پمپاژ برای تعیین حریم‌ها استفاده شد [۱۱]. شین و همکاران (۲۰۱۸) نیز با بررسی سیستماتیک پیرامون معیارهای کمّی حد کیفی

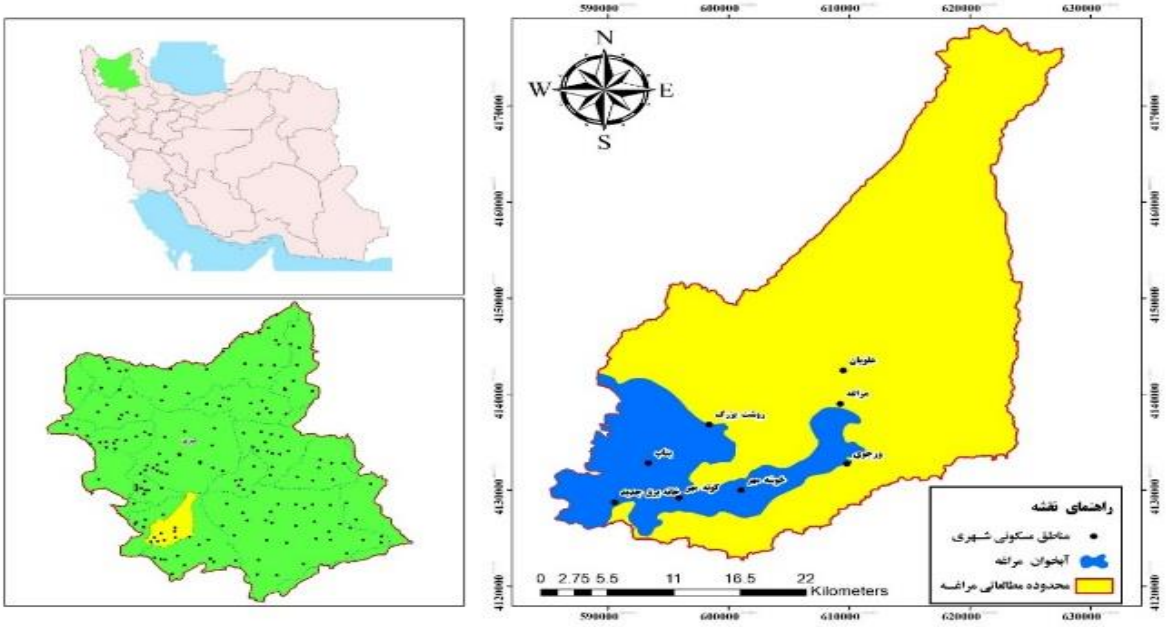
1. Primary health care
2. World health organization
3. Sustainable development

روی چاه‌های آب دریافتند که مؤلفه‌های کمی در حد کیفی کمتر مورد توجه بوده‌اند و باید در برنامه‌های بهینه‌سازی چاه‌های آب شرب و حریم‌های حفاظتی لحاظ شوند. آن‌ها الگوهای بهینه‌ای را برای معیارهای حد کیفی ارائه کردند که در مرتفع کردن شکاف‌های اطلاعاتی و تأمین داده‌های بیشتر پیرامون حد کیفی منابع آبی و فراساختارهای آن مؤثر بود [۱۲].

سعیدی و دارابی (۱۳۹۳) در مقاله‌ای ابتدا مروری بر تاب‌آوری اکولوژیک و تاب‌آوری منابع آب صورت داده‌اند. سپس، اصول پایداری اکولوژیک در خصوص تاب‌آوری محیط‌های خشک در مواجهه با کم‌آبی را استخراج کرده‌اند [۱۳]. پریور و همکاران (۱۳۹۲) در مقاله‌ای با توجه به تفکر تاب‌آوری و بعد از تعریف عوامل مؤثر بر تاب‌آوری محیط زیست شهری، به تدوین چارچوب ارزیابی راهبردی طرح‌های توسعهٔ شهری در مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران پرداخته‌اند. در نهایت، راهبردهای مکان‌دار را در پهنهٔ مورد نظر برای حفظ و ارتقای فرصت‌های موجود و بالقوهٔ خدمات اکوسیستمی شهر بسط داده‌اند [۱۴]. صالحی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی با ارائهٔ تعاریف آسیب‌پذیری و تاب‌آوری با توجه به چارچوب‌ها و مدل‌های مطالعه‌شده به تعیین و پیشنهاد ابعاد و مؤلفه‌های تاب‌آوری محیطی و کنترل آلودگی‌ها در سکونتگاه‌های شهری بر اساس مدل شبکهٔ علیت پرداختند [۱۵]. موارد یادشده از جمله موارد مهم و مرتبط با موضوع این پژوهش بوده که مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این پژوهش سعی شده است با تکیه بر عوامل مؤثر بر تقویت تاب‌آوری به کیفیت آب چاه‌های شرب پرداخته شود.

محدودهٔ مطالعه‌شده

محدودهٔ مطالعاتی شهرستان مراغه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی '۵۷-°۴۵ و '۲۶-°۴۶ شرقی و عرض‌های جغرافیایی '۴۴-°۳۷ و '۱۴-°۳۷ شمالی واقع شده است. مهم‌ترین شهرهای مستقر در محدودهٔ مطالعاتی، مراغه در ۱۴۳ کیلومتری جنوب شهر تبریز و بناب در ۱۲۳ کیلومتری جنوب غربی شهر تبریز واقع شده‌اند. حدود جغرافیایی این محدوده شامل خط‌الرأس ارتفاعات مشترک با محدودهٔ مطالعاتی تبریز و عجب‌شیر در شمال، خط‌الرأس ارتفاعات مشترک با محدودهٔ مطالعاتی میاندوآب از شرق و جنوب، خط‌الرأس ارتفاعات مشترک با محدودهٔ مطالعاتی دریاچهٔ ارومیه در غرب می‌شود. وسعت کل محدودهٔ مطالعاتی مراغه ۱۰۹۵/۵ کیلومتر مربع است، که ۱۸۸/۳ کیلومتر مربع آن را پهنه‌های آبرفتی (آبخوان) تشکیل می‌دهد [۱۶].



شکل ۱. نقشهٔ موقعیت محدودهٔ مطالعاتی و آبخوان مراغه

مواد و روش‌ها

منابع آب‌های زیرزمینی

براساس آخرین آمار شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی تعداد ۱۳۴۸۶ حلقه چاه، ۹۲ رشته قنات و ۷ دهنه چشمه در این محدوده مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. خلاصهٔ آمار وضعیت منابع آب زیرزمینی محدودهٔ مطالعاتی و محدودهٔ آبخوان و میزان بهره‌برداری از هر یک از منابع در جدول ۱ ارائه شده است.

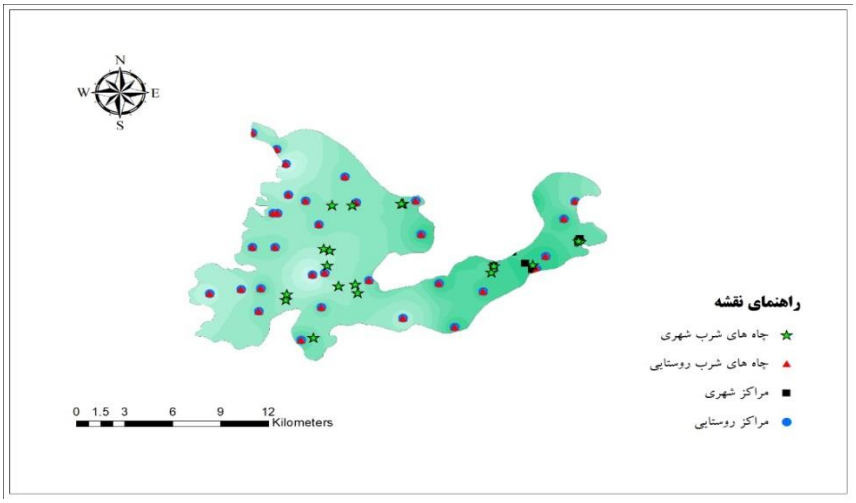
روش تحقیق

محدودهٔ مطالعاتی مراغه دارای ۶۹ چاه شرب شهری و روستایی است که از این تعداد ۲۹ حلقه چاه در محدودهٔ آبخوان قرار دارند که ۸ حلقه چاه غیرفعال دائم و ۴ حلقه چاه غیرفعال موقت است. همچنین، به دلیل تأمین آب شرب مورد نیاز منطقه از منابع آب سطحی زرینه‌رود و مردق‌چای بیشتر چاه‌های شرب غیرفعال بوده و به صورت رزرو هستند.

در این مطالعه نتایج آنالیز نمونه‌های تشریح‌شده، داده‌های خام و پارامترهای کیفی آب با هماهنگی سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی برای چاه‌های آب شرب شهرستان مراغه برای یک بازهٔ زمانی ۲۰ ساله تهیه و در نظر گرفته شده است. همچنین، نتایج نمونه‌برداری میکروبی و شیمیایی طی یک دورهٔ یک‌ساله (۱۳۹۸-۱۳۹۹) ملاک بررسی بوده است. روش نمونه‌برداری خوشه‌ای- دسته‌بندی شده و حجم نمونه برابر با ۵۴ حلقه چاه آب مربوط به منطقهٔ مطالعه‌شده از شهرستان مراغه است. با توجه به اینکه تنها منبع اصلی آب شرب شهر مراغه از رودخانهٔ صوفی‌چای که پس از گذر از تصفیه‌خانه وارد شبکهٔ آب شرب می‌شود. بنابراین، از آب‌های دو حلقه چاه اصلی (چاه‌های ۱ و ۲) فقط در مواقع کم‌آبی تحت عنوان منابع آب پشتیبانی‌کننده به‌خصوص در فصول گرم سال استفاده می‌شود. نام و مشخصات چاه‌های اصلی آب در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱. منابع آب زیرزمینی محدودهٔ مطالعاتی مراغه بر اساس آمار شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی

منابع آب زیرزمینی			
نوع منبع	تعداد		تخلیهٔ سالانه (میلیون مترمکعب)
چاه	۱۳۴۸۶		۱۰۶/۰۷
قنات	۹۲		-
چشمه	۷		-
	نوع و میزان مصرف آب زیرزمینی		
	شرب	صنعت	کشاورزی
تعداد (حلقه چاه)	۶۹	۵۲۶	۱۲۹۰۹
تخلیهٔ سالانه (میلیون مترمکعب)	۱/۸۹	۵/۰۷	۹۹/۱۲



شکل ۲. نقشهٔ پراکندگی چاه‌های شرب روی نقشهٔ محدودهٔ مطالعاتی مراغه

جدول ۲. اطلاعات کلی دو چاه اصلی شرب در منطقهٔ مطالعاتی

عنوان چاه	عمق چاه (m)	محل چاه	موقعیت جغرافیایی (UTM)		دبی	سطح دینامیک (m)	سطح ایستایی (m)
			Y	X			
ش۱	۱۵	هاشم‌آباد	۴۱۳۹۷۰۸	۶۰۸۸۹۰	۴۰ لیتر بر ثانیه	۷	۱۰
ش ۲	۱۷	میدان عبدالقادر مراغه‌ای	۴۱۴۰۳۷۷	۶۰۹۱۶۱	۱۴۰ لیتر بر ثانیه	۷	۱۰

پارامترهای کیفی

در مرحلهٔ اول اطلاعات مورد نیاز زمین‌شناسی، هواشناسی، آب‌شناسی و جغرافیایی و نیز مشخصات چاه‌های آب جمع‌آوری شدند. در ادامه، با استفاده از نرم‌افزار GMS وضعیت هیدرولیک و معادلات دینامیک جریان آب و انتقال و حرکت مواد آلاینده تحت متغیرهای یادشده بررسی و اندازه‌گیری شدند. سپس، بسط مدل عددی با کد WHPA تحت آنالیز در مدول GPTRAC و مقایسهٔ آن با سایر روش‌ها برای تعیین حریم کیفی چاه‌های آب شرب منطقه مورد مطالعه قرار گرفت و نقشه‌های خروجی استخراج شدند. پس از استخراج شاخص‌های تاب‌آوری آب شرب چاه‌ها بر حسب نتایج آنالیز نمونه‌ها و عوامل کیفی، متغیر تاب‌آوری بر اساس تکنیک AHP (فرایند تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری) برای تعیین پهنه‌بندی بر مبنای تغییرات مرتبط با شاخص‌های تاب‌آوری روی خروجی مدل ارزیابی می‌شود. پارامتر تاب‌آوری آب شرب چاه‌ها یک متغیر مستقل است که شامل پارامترهای تاثیرگذار محیطی و هیدروژئولوژیک و هیدرولوژیک (جدول ۳) مطابق با آسیب‌پذیری کیفی و شرایط آستانهٔ عوامل کیفی (پارامترهای مهمی همچون نیترات و فسفات) بررسی شده که به عنوان متغیرهای مستقل کیفی مطرح هستند.

جدول ۳. پارامترهای کمّی مورد استفاده در محاسبهٔ حریم‌های کیفی چاه‌های آب شرب مراغه

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
ضخامت سفره (m)	۳۸	دبی پمپاژ چاه (m^3/h)	۱۳۰/۷
ضریب نفوذپذیری سفره (m/h)	۲/۳۴۷۲	ارتفاع قسمت مشبک چاه (m)	۱۰
گرادیان هیدرولیکی سفره	۰/۰۰۴۹	شعاع چاه (m)	۰/۱
سرعت جریان آب زیرزمینی (m/h)	۰/۰۴۶	مدت زمان انتقال (h)	۴۳۸۰۰
افت سطح آب بر اثر پمپاژ (m)	۰/۰۱۵	درجهٔ پوکی سفرهٔ آب زیرزمینی	۰/۲۵
مدت زمان رسیدن به حالت تعادل در آزمایش پمپاژ (h)	۲۴	ضریب قابلیت انتقال سفره (m^2/h)	۴۷/۵۶
ضریب ذخیره سفره	۰/۰۱۳۷		

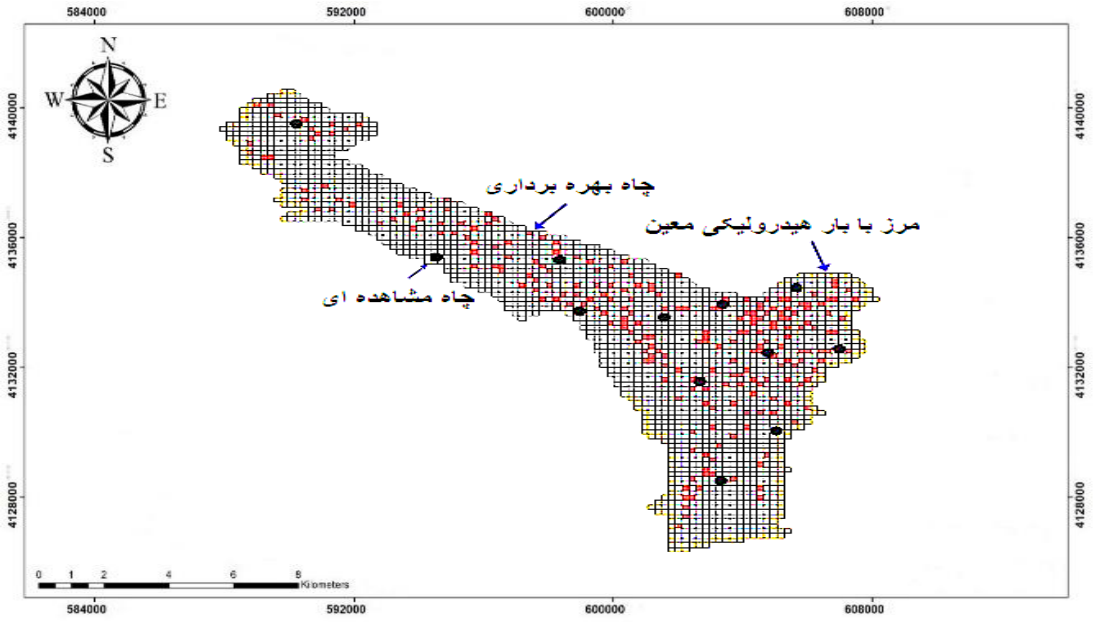
نتایج

مقایسه‌های کیفی بر اساس جمع‌بندی نتایج حاصل از مطالعات کارشناسی انجام‌گرفته روی کیفیت منابع آب منطقه و براساس یافته‌های حاصل از آنالیز نمونه‌های آب شرب منطقه در دورهٔ زمانی نمونه‌برداری انجام شدند. با توجه به نقشه‌های کیفی به‌دست‌آمده با بررسی آنالیز نمونه‌های آب در شهر مراغه، در کل میزان نیترات و فسفات کمتر از حد استاندارد ملی آب شرب ایران است. با توجه به نقشه‌های کیفی به‌دست‌آمده با بررسی آنالیز نمونه‌های آب در شهر مراغه، میزان نیترات در چاه‌های آب شرب مراغه به طور میانگین ۷/۳ mg/L که با استفاده از استاندارد متد Phenol disulfonic acid بر حسب نیترات اندازه‌گیری شد [۱۷] که پایین‌تر از حد استاندارد (mg/L ۵۰) است. همچنین، میزان فسفات در چاه‌های آب شرب مراغه به طور میانگین ۰/۳۵ mg/L که با استفاده از روش کلرید قلع و استاندارد متد Stannous Chloride بر حسب فسفر اندازه‌گیری شد [۱۷] و مقادیر کمی بالاتر از حد استاندارد (mg/ ۰/۰۳) بود که در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه

شده است. بنابراین، در بررسی‌های به‌عمل‌آمده مشخص شد که کمترین مقدار فسفات در منابع آب شرب مربوط به چاه اصلی در شمال غربی مراغه (منطقهٔ کنار رودخانهٔ صوفی‌چای) است.

بیشترین میزان فسفات نیز در نزدیکی همین چاه و تقریباً در غرب مراغه قرار دارد. این نتایج به صورت نقشه‌های پراکنش کیفی برای دو پارامتر محسوس و اصلی تأثیرگذار (فسفات و نیترات) مشخص شدند که در نهایت، با بررسی‌های به‌عمل‌آمده از نقشه‌های کیفی و نمودارهای هیستوگرام مرتبط با منابع آب و غلظت پارامترهای کیفی در شهر مراغه، مشخص شد که پارامترهای فسفات و نیترات در در چاه شرب اصلی مراغه در ماه تیر بالاتر از میزان استاندارد بوده‌اند. میزان پارامتر فسفات در کلیهٔ چاه‌های مطالعاتی ۰/۳۵ mg/L بوده که کمی بالاتر از استاندارد است. در کل، می‌توان گفت که آب چاه‌های منطقه مطالعاتی از لحاظ شرب در محدودهٔ خوب و قابل قبول قرار دارد. در مطالعات گذشته که زیر نظر شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی و سایر شرکت‌های وابسته در این منطقه انجام گرفته و پارامتر شیمیایی فسفات آب کمی بالاتر از حد استاندارد گزارش شده‌اند. طبق یافته‌های توصیفی به نظر می‌رسد از کود شیمیایی در حد بهینه استفاده شده و میزان سموم مورد استفاده کمتر از حد استاندارد است. در این مقاله مطالعاتی که طی دو دوره انجام شده با توجه به اینکه نتایج حاضر از دو بار نمونه‌برداری در تیر و آذر ۱۳۹۹ هستند، در ادامه ارائهٔ یک مدل مطلوب به منظور بهبود آب چاه‌های شرب شهرستان مراغه و انجام مطالعات دقیق‌تر با اندازه‌گیری پارامترهای دیگر در راستای تعیین حریم کیفی چاه‌های آب شرب و تعیین میزان تاب‌آوری آنها امری مهم و ضروری به نظر می‌رسد.

در این فرایند، از مدل دراستیک برای تعیین آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان در محیط GIS استفاده شده است. همچنین، شاخص ناحیهٔ گیرش چاه‌های آب شرب با بهره‌گیری از مدل‌سازی عددی تعیین می‌شود. تلفیق این داده‌ها، شاخص ریسک آلودگی آب زیرزمینی را تعیین می‌کند. به این‌ترتیب، برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی، ردیابی ذرات و مشخص کردن ناحیهٔ گیرش چاه‌ها در محدودهٔ شهرستان مراغه از نرم‌افزار GMS استفاده شد. این نرم‌افزار یک رابط گرافیکی قدرتمند برای کدهای MODFLOW و MODPATH است و از داده‌های پایگاه اطلاعاتی GIS پشتیبانی می‌کند. پس از بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و تهیهٔ مدل مفهومی، شبکه‌ای با سلول‌هایی به ابعاد ۵۰۰×۵۰۰ متر در یک لایه و شامل ۲۴۸۷ سلول فعال برای مدل عددی انتخاب شد که به صورت یک شکل یکپارچه و کلی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. سلول‌های اکتیو مدل عددی جریان آب زیرزمینی در شرایط مرزی و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای

جدول ۴. نتایج آنالیز کیفی چاه‌های آب شرب منطقه

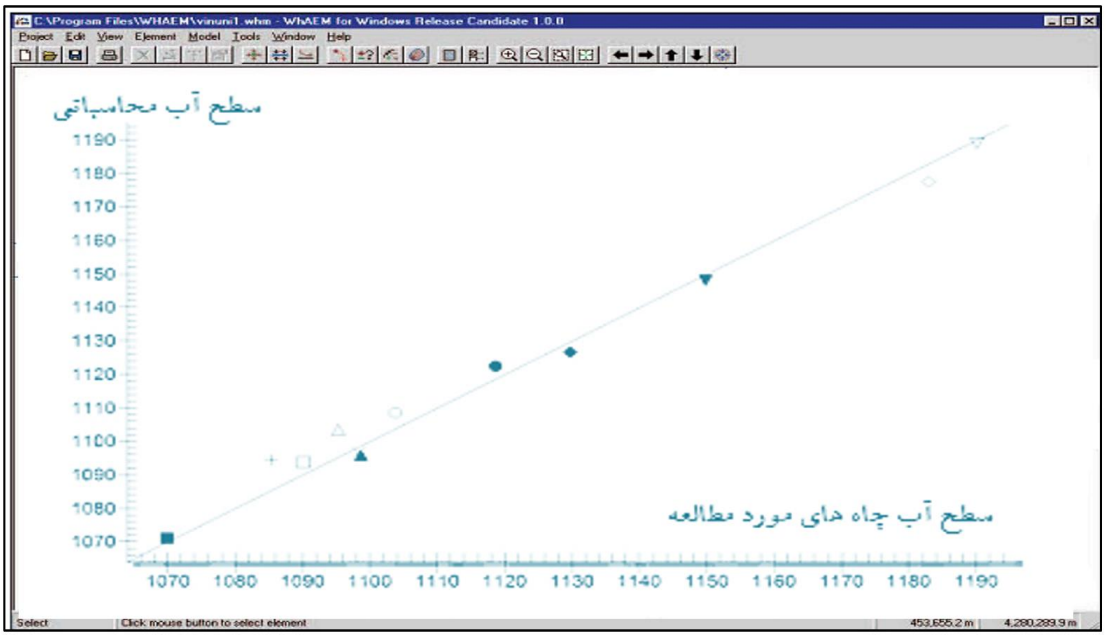
پارامترها	نتایج نمونه‌برداری	
	چاه ۱	چاه ۲
فسفات	۰/۲۶	۰/۴۴
نیترات	۱۰/۷	۳/۷۷

جدول ۵. نتایج نمونه‌برداری چاه‌های آب شرب مراغه (۱۳۹۸-۱۳۹۹)

آنیون‌ها	روش آزمایش	مقدار میانگین (mg/l)	مقدار میانگین (meq/l)	حداکثر مطلوب	حداکثر مجاز
فسفات	Stannous chloride method	۰/۰۳	۰/۰۰۰۹۴۸	-	-
نیترات	Phenol disulfonic acid	۹/۸۶	۱۱/۶۹۰۲۱	۲۴/۸	۵۰

بحث

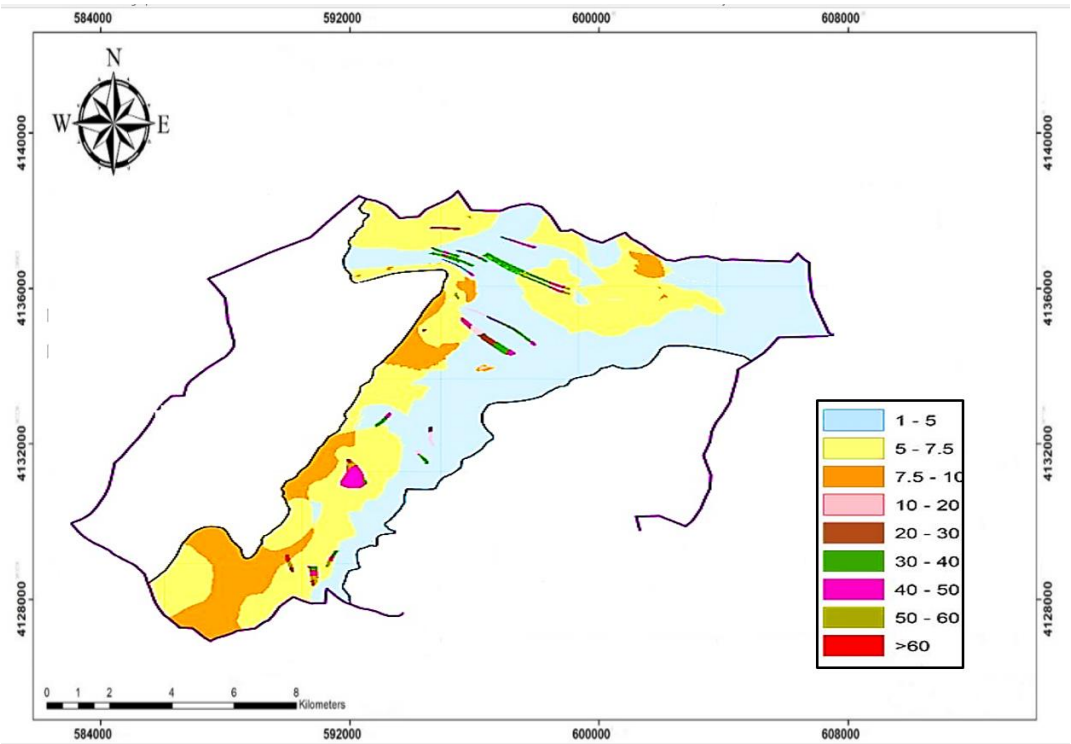
بعد از اینکه تمامی لایه‌های مورد نیاز مدل دراستیک به صورت رستری با سلول‌هایی به ابعاد ۵۰ متر تهیه شدند، این لایه‌ها با توجه به وزن مربوطه تلفیق شده و نقشهٔ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اولیه تهیه شد. سپس، شاخص آسیب‌پذیری اولیه به‌دست‌آمده از تلفیق لایه‌ها، بعد از نرمال شدن در بین بازه ۱ تا ۱۰ قرار گرفته تا طبقه‌بندی لازم در قالب روش AHP (فرایند تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری) به عنوان یکی از روش‌های مرسوم و مطلوب برای انتخاب مکان‌های مناسب برای حد کیفی مشخص شد. برای تعیین میزان متغیر تاب‌آوری، مناطق بر حسب شاخص‌های کمّی بررسی شدند. مناطق دارای شاخص عددی بیشتر، نسبت به آلودگی آسیب‌پذیرتر هستند و بنابراین، میزان تاب‌آوری کمتری دارند. در گام بعد، مدل آب زیرزمینی تهیه‌شده برای آبخوان آبرفتی، مدل در شرایط پایدار با استفاده از داده‌های ۵ سال اخیر و با تغییر مقادیر هدایت هیدرولیکی واسنجی شد. نتایج واسنجی (شکل ۴) مدل به صورت مقایسهٔ سطح آب اندازه‌گیری‌شده و سطح آب شبیه‌سازی‌شده در چاه‌های مشاهده‌ای شهرستان مراغه ارائه شد.



شکل ۴. نمودار مقایسه‌ای سطح آب اندازه‌گیری‌شده و سطح آب مدل‌سازی‌شده با استفاده از مدل MODFLOW در چاه‌های آب شهرستان مراغه

پس از واسنجی مدل، مشخصات چاه‌های آب شرب شهرستان مراغه برای مدل عددی مشخص و برای محاسبهٔ حریم کیفی این چاه‌ها از کد MODPATH استفاده شد. با اجرای مدل ردیابی ذرات یا همان MODPATH ناحیهٔ گیرش با زمان ۱، ۳ و ۵ ساله و نهایی (شرایط پایدار مستقل از زمان) چاه‌های آب شرب شهرستان مراغه تعیین شد که این ناحیه‌ها در واقع حریم کیفی این چاه‌ها را نشان می‌دهند.

در مرحلهٔ بعدی لایه‌های رستری شاخص آسیب‌پذیری اولیه و شاخص ناحیهٔ گیرش با یکدیگر تلفیق شدند تا میزان تاب‌آوری چاه‌ها برحسب شاخص ریسک آلودگی آب زیرزمینی در محدودهٔ مطالعاتی تعیین شود. شکل ۵ نقشهٔ تاب‌آوری چاه‌های منطقهٔ مورد تحقیق را برحسب ریسک آلودگی و پارامترهای کیفی دخیل (نیترات و فسفات) در آب چاه‌ها نشان داده است.



شکل ۵. نقشهٔ تاب‌آوری بر حسب ریسک آلودگی چاه‌ها در محدودهٔ شهرستان مراغه

نتیجه‌گیری

با توجه یافته‌های تحقیق، دامنهٔ تغییرات شاخص‌های آلودگی قابل ارزیابی است و شاخص ریسک آلودگی آب زیرزمینی بین ۱ تا ۱۰۰ می‌تواند تغییر کند، به طوری که مقادیر کم نشان‌دهندهٔ این است که احتمال آلودگی منابع آب زیرزمینی بسیار اندک و تاب‌آوری بیشتر است؛ اما مقادیر زیاد این شاخص نشان می‌دهد منابع آب در معرض ریسک آلودگی قرار دارند و در پی آن، تاب‌آوری چاه‌های آب شرب کمتر و این مناطق نیاز به حفاظت و اقدامات پیشگیرانه دارند. نقشهٔ تاب‌آوری بر حسب ریسک آلودگی چاه‌ها نشان می‌دهد قسمت‌هایی از ناحیهٔ گیرش با اینکه در فاصلهٔ زیادتری از چاه قرار دارد، به علت اثر مؤلفه‌های دیگری مانند عمق آب زیرزمینی، نوع خاک منطقهٔ غیر اشباع در برابر آلودگی آسیب‌پذیر هستند و بنابراین، میزان تاب‌آوری در این قسمت‌ها در مقایسه با سایر بخش‌ها متفاوت و متغیر خواهد بود.

بنابراین، در این پژوهش، پهنه‌بندی میزان تاب‌آوری چاه‌های آب شرب بر مبنای ریسک آلودگی آب زیرزمینی ارائه شد که حاصل تلفیق مدل دراستیک با حریم کیفی نقطه‌ای چاه‌های به‌دست‌آمده از مدل‌های عددی در محیط GIS است. توانایی مدل ارائه‌شده در این مطالعه برای تعیین مناطقی از ناحیهٔ گیرش چاه‌ها که در برابر آلودگی آسیب‌پذیری بیشتر و تاب‌آوری کمتری دارند، باعث می‌شود یکی از مشکلات روش‌های مرسوم ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، که عدم توانایی پیش‌بینی اثر انتشار و پراکندگی آلودگی در مناطق آسیب‌پذیر آبخوان بر

آلودگی منابع ارزشمند آب مانند چاه‌های آب شرب است، مرتفع شود. پیشنهاد می‌شود سایر پژوهشگران در زمینهٔ حریم کمّی و کیفی چاه‌های آب شرب به تفکیک پارامترهای مهم و تأثیرگذار در یک منطقه بررسی و ارزیابی کنند و مدل بهینه‌ای را تحت پارامترهای هیدروژئولوژیکی آبخوان در شرایط پایدار و ناپایدار ارائه کنند تا بتوان با مدل‌سازی حریم کمّی چاه‌های آب شرب موجود در یک منطقه و با توجه به تغییرات یک پارامتر شیمیایی یا فیزیکی مهم در محدودهٔ زون گیرش، حریم نهایی چاه‌های آب شرب را تعیین کرد.

منابع

[1]. Safari, G.H., et al., Non-carcinogenic risk assessment of drinking water nitrate in the urban and rural area of the Bostanabad County in 2017. Journal of Environmental Science Studies, 2021. 6(1): p. 3390-3395.

[2]. Shalyari, N., et al., Health risk assessment of nitrate in groundwater resources of Iranshahr using Monte Carlo simulation and geographic information system (GIS). MethodsX, 2019. 6: p. 1812-1821.

[3]. Klise, K., et al., Water Network Tool for Resilience (WNTR) User Manual. 2020, Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).

[4]. Datta, P., D. Deb, and S. Tyagi, Assessment of groundwater contamination from fertilizers in the Delhi area based on 180, N03− and K+ composition. Journal of Contaminant Hydrology, 1997. 27(3-4): p. 249-262.

[5]. Lerner, D. and K. Papatolios, A simple analytical approach for predicting nitrate concentrations in pumped ground water. Groundwater, 1993. 31(3): p. 370-375.

[6]. Thorburn, P.J., et al., Nitrate in groundwaters of intensive agricultural areas in coastal Northeastern Australia. Agriculture, ecosystems & environment, 2003. 94(1): p. 49-58.

[7]. Park, M.-H. and M.K. Stenstrom, Using satellite imagery for stormwater pollution management with Bayesian networks. Water research, 2006. 40(18): p. 3429-3438.

[8]. Gibbs, M.T., Resilience: What is it and what does it mean for marine policymakers? Marine Policy, 2009. 33(2): p. 322-331.

[9]. Pahl-Wostl, C., et al. New methods for adaptive water management under uncertainty–The NeWater project. in Paper in EWRA conference proceedings. 2005.

[10]. Nikolopoulos, D., et al., Tackling the “New Normal”: A Resilience Assessment Method Applied to Real-World Urban Water Systems, Water. 2019. 11: p. 330.

[11]. Stephen, R. and Kraemer, Demonstration of Capture Zone Delineation for a City Wellfield in a Valley Fill Glacial Outwash Aquifer for Wellhead Protection, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, 2018.

[12]. Shin, S., et al., A systematic review of quantitative resilience measures for water infrastructure systems. Water, 2018. 10(2): p. 164.

[13]. Saeedi and Darabi, University landscape design with a resilience approach in water crisis (Case study: Malayer University). Ecology, 2014. 40(4): p. 1051-1066.

[14]. Parivar, P., et al., Development of ecological sustainability strategies to increase urban environmental resilience (Case study: Districts 1 and 3 of Tehran Municipality). Ecology, 2013. 39(1): p. 123-132.

[15]. Salehi, E., et al., Investigation of environmental resilience using causal network model.

[16]. Reliable reports, documents and maps about the boundaries and sources of groundwater, available in the archives of the Regional Water Company and the Water and Sewerage Company of A.Sh. 2016.

[17]. APHA, AWWA, and WEF, Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, 1999.