ارزیابی پارامترهای کیفی و مدل‌سازی آبخوان دشت دهگلان- استان کردستان

عبداله طاهری‌تیزرو[1*]، شرمین میرکی[2] و روژین فصیحی[3]

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
۲- کارشناس‌ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
۳- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

نویسنده مسئول: **ttizro@basu.ac.ir ***

دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۷ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۲۳ نوع مقاله: کاربردی

چکیده

برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و خشکسالی از عوامل افزایش آلودگی و کاهش کیفیت می‌باشد، مدل‌سازی دشت دهگلان با مدل MODFLOW در قالب نرم‌افزار GMS با هدف پیش‌بینی سطح آب و بررسی رابطه تغییرات سطح آب با مقادیر پارامترهای کیفی (EC و TDS) انجام شد. شبیه‌سازی برای یک دوره ۸ ساله، از مهر ۱۳۸۷ تا بهمن ۱۳۹۴ انجام گردید. مدل مذکور برای مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۴ واسنجی و چهار ماه بعد از آن صحت‌سنجی گردید. نتایج واسنجی سطح آب زیرزمینی در حالت ماندگار مقدار RMSE را ۰/۷۷ متر و در حالت غیرماندگار ۱/۲۴ متر نشان داد. هدایت هیدرولیکی از قسمت جنوب دشت به سمت قسمت میانی و خروجی دشت کمتر شده و آبدهی ویژه نیز در قسمت میانی و شمال دشت نسبت به قسمت‌های دیگر بیش‌تر است. آزمون آنالیز حساسیت نیز نشان داد که مدل به کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش تغذیه حساسیت بیش‌تری نشان می‌دهد. اطمینان از توانایی مدل در پیش‌بینی آینده آبخوان، پیش‌بینی برای ۶ سال با فرض ادامه روند کنونی تا سال ۱۴۰۱ انجام شد، در نتیجه پیش‌بینی با در نظر گرفتن اثرات محتمل وارد بر آبخوان با ادامه روند کنونی مدنظر قرار گرفت، با اعمال این روند نشان داد که افزایش افت سطح آب از قسمت‌های شمالی دشت به سمت مرکز و ورودی دشت ادامه خواهد داشت. تغییرات افت سطح آب بر کیفیت آب زیرزمینی در دشت نقشه تغییرات سطح آب و نقشه تغییرات پارامترهای کیفی (EC و TDS)، طی ۸ سال مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد روند تغییرات کیفی تقریبا در راستای تغییرات سطح آب بوده و در قسمت شمال دشت با ادامه روند افت سطح آب، مقدار پارامترهای کیفی (EC و TDS) به دلیل کاهش سطح آب و کاهش تغذیه آبخوان در سال‌های اخیر یافته است. همچنین در قسمت جنوب دشت که چاه بهره‌برداری کم‌تری در آن قرار دارد و ورودی دشت محسوب می‌شود مقدار پارامترهای کیفی کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: دشت دهگلان، MODFLOW، GMS، کیفیت آب زیرزمینی، کریجینگ

پیشگفتار

کیفیت آب‌های زیرزمینی همچون آب سطحی دائماً در حال تغییر است. البته لازم به ذکر است که این تغییر نسبت به آب‌های سطحی بسیار کندتر صورت می‌گیرد، تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی شکل‌گیری شوری منابع آب در حال حاضر خطری بزرگ در راستای توسعه کشاورزی به خصوص اراضی خشک می‌باشد (مهدوی، ۱۳۸۴). نقشه‌های تغییرات مکانی ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی، نقشی ارزنده را در فرآیند تصمیم‌گیری و مدیریت استفاده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند. روش‌های گوناگون برای مطالعه و پهنه‌بندی تغییرات ویژگی‌های آب‌های زیرزمینی وجود دارد که هر کدام از آن‌ها بسته شرایط منطقه و وجود آمار و داده‌های کافی دارای دقت‌های کوناگونی می‌باشند. انتخاب روش مناسب پهنه‌بندی و تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی منطقه به شمار می‌رود (شعبانی، ۱۳۸۷). بررسی روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی و مدیریت پایدار منابع آب در دشت‌ها از اهمیت فراوانی برخوردار است. کمیت و کیفیت آب از جمله منابع مهم و تاثیرگذار در زندگی می‌باشند (هوک و همکاران، ۲۰۰۱). وجود تغییرات مکانی امری طبیعی می‌باشد ولی شناخت این تغییرات جهت برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت امری لازم و مفید است. زمین آمار به‌عنوان تکنیکی جدید برای بررسی توزیع مکانی مولفه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود (نظری‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵). اطلاع از چگونگی تغییرات

زمانی و مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی به منظور مدیریت صحیح منابع آب امری ضروری محسوب می‌شود (صاحب جلال و همکاران، ۱۳۹۱). کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم مرتبط با مسائل مکانی روز به روز گسترده‌تر می‌شود و استفاده بهینه از این سیستم مستلزم فهم دقیق مبانی نظری ایـن روش علمی است. این سیستم‌ها انعطاف‌پذیری را برای کشف ارتباط بین داده‌های جغرافیایی فراهم می‌آورد و به متخصصین این امکان را می‌دهد که معلوماتشان را برای حل مسائل پیچیده در کنار یکدیگر قرار دهند (ادب و هـمکاران، ۱۳۸۷). تهیه‌ی نقشه‌های تغییرات شوری و املاح می‌تواند گامی مهم در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد. افزون بر آن نقشه‌های تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی، نقشی ارزنده را در فرایند تصمیم‌گیری و مدیریت استـفاده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند. انتخاب روش مناسب پهنه‌بندی و تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی منطقه به شمار می‌رود (گاوس و همکاران، ۲۰۰۳). در زمینه روند تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی مطالعات زیادی در داخل و خارج کشور انجام شده است از جمله: طاهری‌تیزرو و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی مقدار TDS رودخانه زاینده‌رود را با استفاده از مدل‌های هوشمند در دو دوره تر و خشک بررسی کردند، نتایج آنان برتری مدل‌های هوشمند را جهت تعیین TDS نشان داد. هاکان (۲۰۱۲) نقشه تغییرات مکانی و زمانی آب‌های زیرزمینی دشت بافرا ترکیه را با استفاده از کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص تهیه نمود. نقشه‌های تنوع مکانی کاهش شوری را از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ نشان داد که این امر را می‌توان به تکمیل سیستم‌های آبیاری و زهکشی و آبشویی نمک از مناطق مرتفع نسبت داد. مایرلس (۲۰۱۲) به بررسی مشکلات ناشی از شوری خاک و سطوح ایستابی بالا در مناطق تحـت آبیاری دره جـزریل[1] واقع در سرزمین‌های اشغالی پرداخت، در این مطالعه از مدل جریان آب زیرزمینی (GMS) برای شبیه‌سازی سطوح آب زیرزمینی استفاده شد، نتایج نشان داد که ۳۲۵ هکتار از منطقه دارای شوری خاک بالاست و ۶۲۷۵ هکتار از منطقه از پتانسیل شور شدن به کار برد. یانگ و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل آب زیرزمینی را در شهرستان تونگلینا[2] چین با استفاده از مدل GMS ایجاد کردند. مدل مفهومی با تجزیه و تحلیل داده‌های هیدروژئولوژیکی ساخته شد، پارامترهای هیدرولوژیکی براساس داده‌های مشاهده شده‌ی موجود از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۲ واسنجی شدند و با توجه به اینکه سطح آب محاسبه شده با داده‌های اندازه‌گیری شده همپوشانی داشت نشان می‌دهد که مدل مفهومی و پارامترهای استفاده شده در مدل می‌تواند منعکس کننده سیستم فیـزیکی واقـعی در مـطالعه حوضـه باشد. طاهری‌تیزرو و همکاران (۲۰۱۱) افزایش ذخایر آب زیرزمینی حوضه بهار را با استفاده از مدل MODFLOW شبیه‌سازی کردند تغذیه مصنوعی نتایج رضایت بخشی به دست آورد و نتایج حاکی از آن بود که می‌توان منابع آب زیرزمینی حوضه بهار را با تغذیه مصنوعی افزایش داد. کانل و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تغییرات مکانی و فاکتورهای موثر در مدیریت آب‌های زیرزمینی در دره‌ی کاتماندو نپال دریافتند که آلودگی مناطق روستایی کمتر از مناطق شهری است. همچنین گزارش کردند که غلظت فسفر کل در آب‌های زیرزمینی مناطق روستایی بیشتر از آب‌های سطحی است. فرهپور و همکاران (۱۳۹۷) از کد عددی MODFLOW و MT3D در نرم‌افزار GMS به‌منظور بررسی تغییرات غلظت کروم در آبخوان بیرجند استفاده نمودند، خروجی مدل کیفی بیش‌ترین غلظت کروم را در ناحیه میانی آبخوان نشان داد و نتایج مدل کمی و کیفی نشان داد که افت آب زیرزمینی در مناطق غربی بیش‌تر از سایر نقاط می‌باشد. بیات ورکشی و همکاران (۱۳۹۷) مسیر جریان آب زیرزمینی توسط ردیابی ذرات در محدوده آبخوان بهار همدان با استفاده از نرم‌افزار GMS و مدل MODPATH برای دوره‌های آتی انجام دادند نتایج آنان بیانگر آن است که با گذشت زمان حرکت آلاینده افزایش می‌یابـد و سطح بیش‌تری از دشت را تحـت تاثـیر قرار می‌دهد. در آبخوان بهار همدان مدل فصیحی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از نرم‌افزار GMS و مدل MT3DMS نشان دادند که غلظت آلاینده کلراید طی ادوار آتی در آبخوان دشت همدان - بهار افزایش خواهد یافت. صاحب جلال و همکارن (۱۳۹۱) تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی دشت بهادران مهریز را با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ مورد مطالعه قرار دادند. بررسی نقشه شوری نشان داد که آب زیرزمینی

[1] Jezre'el valley

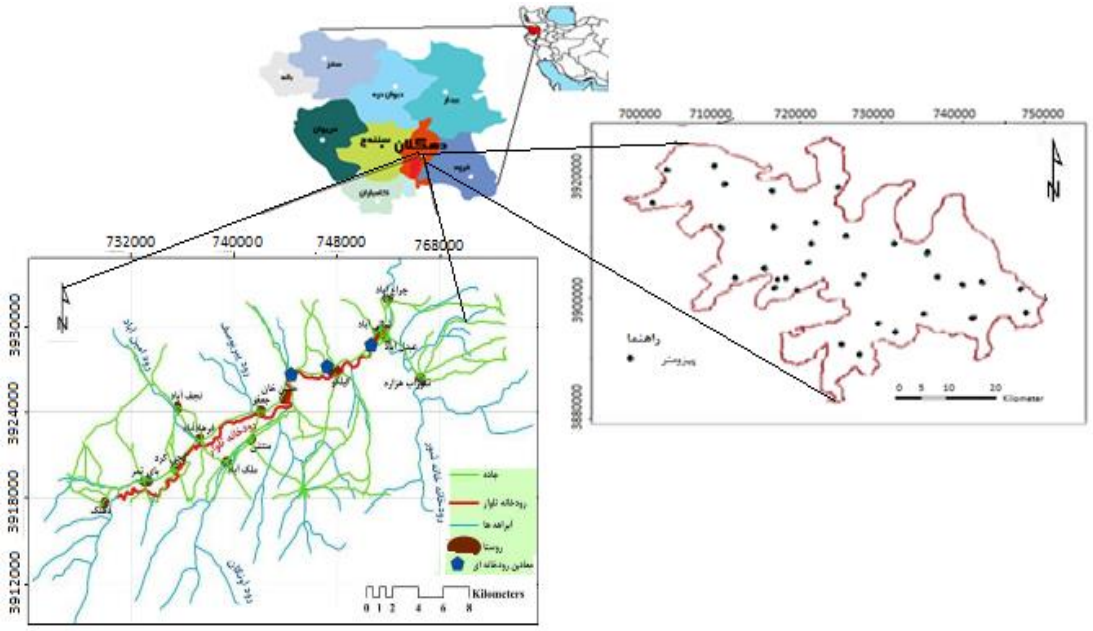
[2] Tongliao

در ۴۸ درصد از منطقه در کلاس محدودیت شدید و ۵۲ درصد در کلاس با محدودیت کم تا متوسط قرار دارند همچنین در یک دوره ۵ ساله شوری آب زیرزمینی در ۳۱ درصد منطقه کاهش و ۲۶/۵ درصد منطقه افزایش و در ۴۲/۴ درصد بدون تغییر مانده است. مقدم و همکاران (۱۳۹۱) روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب (TDS، Ph، EC) دشت مشهد را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد کیفیت آب پایین دست حوضه مشهد با توجه به تجمع کشاورزی و روستانشینی به یک ناحیه بحرانی تبدیل شده بود و با ادامه چنین وضعیتی تا چند سال آینده تجمع آلودگی در آب شرب و کشاورزی بیش‌تر می‌شود. قمیشیون و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دست سمنان سرخه با استفاده از روش‌های زمین آمار (معکوس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ) به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ دارای دقت بالاتری نسبت به دو روش دیگر می‌باشد. مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی عامل‌های کیفی (هدایت الکتریکی، کلر، غلظت املاح محلول، سدیم و سولفات) نشان داد که در مرزهای دشت از یک روند افزایشی برخوردار است ولی در قسمت‌های مرکزی دشت تغییر محسوسی در طی دوره اماری ۱۱ساله مشاهده نشد. رضایی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی در دشت گیلان با استفاده از روش کریجینگ به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب‌های استان از نظر شاخص SAR مناسب می‌باشد ولی از نظر هدایت الکتریکی در بخشی از استان در محدوده آستانه کاهش عملکرد برنج قرار دارد. محمدی و همکاران (۱۳۸۶) به مقایسه برخی از روش‌های زمین آماری در بررسی تغییرات مکانی غلظت املاح محلول آب زیرزمینی دشت کرمان پرداختند. از بین سه روش کریجینگ، معکوس فاصه وزنی (IDW) و فاصله وزنی (NDW) روش کریجینگ به عنوان بهترین روش براورد کیفی TDS انتخاب شد. دماوندی و همکاران (۱۳۸۴) در تحقیقی به بررسی تغییرات کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی استان زنجان پرداختند نتایج نشان داد آب‌های سطحی استان شور است و منابع آب مورد بررسی از نظر بور و نیترات در محدوده آب‌های بدون محدودیت تا محدودیت کم طبقه‌بندی شدند، همچنین ۴۴ درصد آب‌های زیرزمینی مناسب برای کشاورزی و شرب بوده، ۴۸ درصد دارای کیفیت متوسط و تنها ۸ درصد در کلاس نامناسب قرار گرفتند. دشت دهگلان به عنوان بزرگ‌ترین دشت استان کردستان به لحاظ برخوردار بودن از استعدادهای بالقوه از نظر خاک و کشاورزی همواره از اهمیت بسزائی برخوردار بوده است. پتانسیل آب‌های سطحی محدوده دشت دهگلان ضعیف بوده و لذا آب زیرزمینی تنها منبع عمده تأمین کننده آب مصرفی در بخش‌های مختلف در این دشت می‌باشد، افت سطح ایستابی دشت دهگلان به میزان زیادی در سال‌های اخیر تشدید یافته است و آن را به یک منطقه ممنوعه تبدیل کرده است. با بررسی و مطالعه تحقیقات انجام گرفته تاکنون مطالعه کاملی بر روی تغییرات پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان انجام نگرفته است. لذا هدف مطالعه‌ی حاضر پهنه‌بندی توزیع مکانی دو شاخص مهم کیفیت آب زیرزمینی شامل EC و TDS و بررسی تغییرات آن‌ها در دو فصل پر آب و کم آب با استفاده از GIS می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت دهگلان در شرق استان کردستان با مساحت ۶۲۴ کیلومتر مربع و مساحت حوضه آبریز ۲۵۵۰ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۱۸۷۶ متر از سطح دریا قسمتی از سرشاخه رودخانه تلوار در حوضه آبریز رودخانه سفیدرود را تشکیل می‌دهد. منطقه مورد مطالعه در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی واقع است (شکل ۱). بر اساس آمار دریافت شده، در حال حاضر بالغ بر ۳۸ حلقه چاه مشاهده‌ای در سطح این دشت وجود دارد و سطح آب آن‌ها هر ماهه توسط اداره آب منطقه‌ای دهگلان اندازه‌گیری می‌شود. شایان ذکر است که در طی دوره‌های گذشته تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای به دلایل مختلف از جمله به دلیل تخریب و یا عمق ناچیز خشک و حذف و تعدادی نیز در طی دوره‌های مختلف و بتدریج به شبکه مشاهداتی منطقه افزوده شده است موقعیت دشت و چاه‌ها در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نمایش چاه‌های نمونه‌برداری شده

مدل مفهومی

دشت دهگلان به‌دلیل اقلیم سرد و خشک برای انجام فعالیت‌ها در بخش‌های مختلف به خصوص کشاورزی به آب زیرزمینی وابسته است. منابع تغذیه در این دشت شامل بارندگی، آب زیرزمینی ورودی، نفوذ ناشی از رواناب‌ها و آب برگشتی ناشی از مصارف کشاورزی، صنعتی و شرب می‌باشد. در بخش مربوط به تخلیه نیز آب استخراجی توسط چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و آب زیرزمینی خروجی از دشت می‌باشد. با توجه به اطلاعات بدست آمده از پیماش صحرایی و مطالعات هیدروژئولوژی اشکال هندسی آبخوان تهیه گردید. نقشه سنگ بستر نیز با داشتن نقشه‌های توپوگرافی منطقه و هم ضخامت آبرفت، لاگ حفاری پیزومترها و بررسی عمق آن‌ها تهیه گردید. در بخش جنوب و جنوب غربی محدوده مطالعاتی، سنگ کف در عمق کمی قرار داشته و با حرکت به سمت خروجی دشت، ضخامت آبخوان و عمق سنگ کف، افزایش می‌یابد (تراز سنگ کف از قسمت جنوب و جنوب غربی به سمت شمال کاهش می‌یابد) با توجه به نتایج زمین‌شناسی، لاگ چاه‌ها و ژئوفیزیک، نوع آبخوان منطقه به صورت آبخوان آزاد است.

طراحی مدل

پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز، مدل مفهومی منطقه به منظور ساده‌تر نمودن پیچیدگی‌های واقعی آبخوان و تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهده‌ای تهیه می‌گردد. در این تحقیق، مدل ریاضی آبخوان دهگلان به روش مدل مفهومی با استفاده از نرم‌افزار GMS که قابلیت تلفیق MODFLOW با GIS را دارد صورت گرفته است.

واسنجی مدل

در این پژوهش، بار هیدرولیکی به عنوان معیار واسنجی در دو حالت پایدار و ناپایدار در نظر گرفته شده است. و هدف نهایی واسنجی، کاهش مقدار خطا تا حد قرارگیری در محدوده خطای قابل قبول می‌باشد. به منظور واسنجی مدل در MODFLOW، دو روش خودکار (با استفاده از کد PEST) و دستی (روش سعی و خطا) وجود دارد. در این تحقیق از هر دو روش استفاده شده است. در ابتدا پارامترهای شرایط مرزی و هدایت هیدرولیکی به روش سعی و خطا تغییر داده شدند، پس از کاهش خطای واسنجی، مقادیر هدایت هیدرولیکی با استفاده از کد PEST تعیین گردید. برای این منظور ابتدا منطقه به چندین پلی‌گون تقسیم‌بندی شده و به هر یک از بخش‌ها یک نام اختصاص داده شد و یک مقدار اولیه برای آن‌ها تعیین گردید، و مدل در حالت معکوس اجرا شد تا بهترین برازش بین بارهای هیدرولیکی محاسبه شده و مشاهده شده حاصل گردد و مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی برای محدوده مدل‌سازی تخمین زده شود.

صحت‌سنجی مدل

مدل‌سازی آبخوان دشت دهگلان، در یک دوره ۸ ساله و حد فاصل مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۴ انجام شد برای اطمینان از صحت شبیه‌سازی باید مدل تهیه شده با داده‌های و شرایط واقعی مورد ارزیابی واقع گردد. مدل آبخوان دشت دهگلان با اعمال آمار و اطلاعات محیطی چهار ماهه صحت سنجی گردید.

آنالیز حساسیت مدل

برای تهیه‌ی مدل و استنتاج جواب‌های مورد نیاز، داشتن ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان (ضریب هدایت هیدرولیکی، ضریب قابلیت انتقال و آبدهی ویژه) برای سلول‌های مختلف می‌باشد. هدایت هیدرولیکی بحرانی‌ترین و حساس‌ترین پارامتر در تهیه مدل می‌باشد که مقدار آن از حدود صفر (برای خاک‌های رسی و نفوذ ناپذیر) تا صد (برای خاک‌های شنی) متغیر است. باید سعی شود که طراحی مدل با استفاده از مقادیر واقعی ضریب هدایت هیدرولیکی که در صحرا و توسط آزمایش‌های پمپاژ بدست آمده، صورت گیرد اما متاسفانه برای آبخوان دشت دهگلان مقادیر هدایت هیدرولیکی با استفاده از قابلیت انتقال و ضخامت آبخوان آن هم از آزمایشات پمپاژ نامطمئن و تعداد محدود به عنوان مقادیر اولیه به سلول‌های مدل معرفی شد، و از آن جایی که پارامتر های مذکور مطمئن نبوده بنابراین مقادیر بدست آمده طی عمل واسنجی به کرات اصلاح شده است. مقادیر اولیه میزان آبدهی ویژه با توجه به لاگ چاه‌های اکتشافی و پیزومتری، و جداول استاندارد، برای منطقه مطالعاتی زون‌بندی گردید. همان‌گونه که مشخص است، تغییر پارامترهای ورودی مدل، تأثیر یکسانی بر خروجی مدل ندارد؛ بدین منظور باید بررسی نمود که به ازای چند درصد تغییر در ورودی‌ها، چه تغییری در نتایج (خروجی‌ها) به وجود خواهد آمد. در این راستا، پس از واسنجی مدل در دو حالت پایدار و ناپایدار، حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف مدل به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت. به منظور آنالیز حساسیت به مقادیر هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و تغذیه، به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد مقدار اولیه به آن اضافه یا کم می‌شود، در حالی که بقیه داده‌های ورودی ثابت می‌ماند. در هجده حالت جدید ایجاد شده، مدل اجرا و واریانس خطای به‌دست آمده با سایر مقادیر ترسیم و مقایسه می‌شود. حساس‌ترین عوامل پارامترهایی هستند که با درصد تغییرات اعمال شده، بیش‌ترین واریانس خطا را ایجاد کنند. به منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از تعداد ۳۳ حلقه چاه نمونه‌برداری و خصوصیات شیمیایی آب شامل EC و TDS اندازه‌گیری شد، در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون کوموگروف – اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت بر طبق آن چنانچه سطح معنی‌داری در این آزمون که با Sig نمایش داده می‌شود بیش‌تر از ۰/۰۵ باشد می‌توان داده‌ها را با اطمینان بالایی نرمال فرض کرد، در غیر این صورت، نمی‌توان گفت توزیع داده‌ها نرمال است. با توجه به نتایج جدول ۱ در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ سطح معنی‌داری بالای ۰/۰۵ می‌باشد و داده‌ها نرمال هستند.

جدول ۱. نتایج تجزیه آماری خصوصیت شیمیایی دشت دهگلان

خصوصیت آب زیرزمینی	واحد	Sig	
		سال ۱۳۸۷	سال ۱۳۹۴
EC	میکروموس بر سانتی‌متر	۰/۱	۰/۲
TDS	میلی‌گرم بر لیتر	۰/۱۵	۰/۲

در مرحله بعد، موقعیت مکانی چاه‌ها به همراه خصوصیات اندازه‌گیری شده به صورت لایه نقطه‌ای در محیط GIS وارد گردید. در تحقیق حاضر برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خصوصیات آب زیرزمینی و بررسی تغییرات، برای میان‌یابی مقادیر کمی داده‌ها در نقاط فاقد اندازه‌گیری از روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی استفاده گردید. در این پژوهش روش کریجینگ دارای دقت بالاتری نسبت به روش معکوس فاصله وزنی و شبکه توابع پایه شعاعی بوده است که جهت بررسی انتخاب گردید. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرّک وزن‌دار استوار می‌باشد و در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمین‌گر خطّی ناریب است. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمینی، خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد (کریمی

جعفری و اسلامیان، ۱۳۹۰). روش کریجینگ در قالب رابطه ۱ بیان می‌شود.

$$Z^*(h) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \, z(x_i) \qquad (۱)$$

در این رابطه، $Z^*(h)$ مقدار متغیّر مکانی برآورد شده، $Z(X_i)$ مقدار متغیّر مکانی مشاهده شده در نقطه X_i و λ_i وزن آماری است که به نمونه X_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمّیت نقطه i ام در برآورد است (حسنی‌پاک، ۱۳۸۹). مدل کریجینگ بر حسب مشخّصات ساختار مکانی، انواع مختلفی دارد و مهم‌ترین انواع آن، کریجینگ ساده، معمولی و عمومی می‌باشد (هوسی و همکاران، ۱۹۹۲).

برای انتخاب روش میان‌یابی مناسب از روش اعتبارسنجی متقاطع براساس مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف به عنوان مقادیر شاهد با مقادیر برآوردی استفاده شد. با داشتن مقدار واقعی و برآورد شده، میزان خطا و انحراف مربوط به هر روش به دست آمد. در نهایت نتایج حاصل با معیارهای ریشه مربع میانگین خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (r) در قالب روابط زیر مورد سنجش قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{n}} \qquad (۲)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2 (P_i - \bar{P})^2}} \qquad (۳)$$

در این روابط O_i و P_i به ترتیب iامین داده مشاهده‌ای و محاسبه شده، $\bar{O}$ متوسط داده مشاهده‌ای، و n تعداد نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند.

در انتها پس از انتخاب روش مناسب میان‌یابی، نقشه‌های پهنه‌بندی از پارامتر مورد نظر تهیه گردید و به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی یک دوره سه ماهه طی یک سال ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

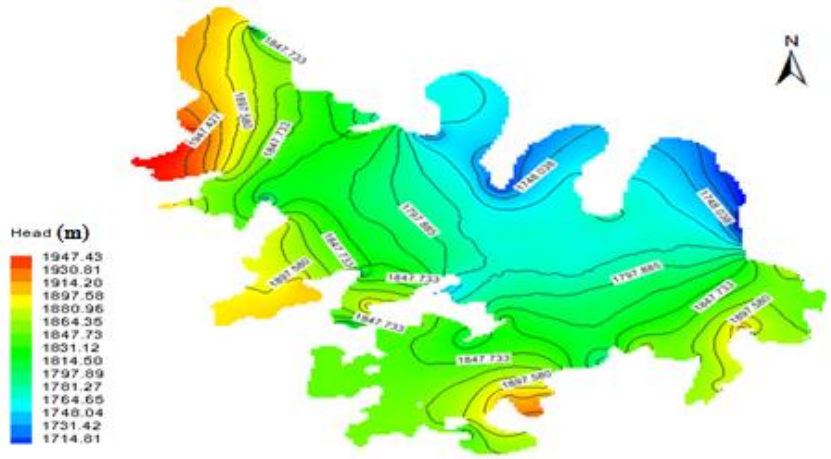
نخستین مرحله‌ی واسنجی مدل آب زیرزمینی مربوط به واسنجی هدایت هیدرولیکی در حالت پایدار است. دقت در تعیین این پارامتر تأثیر زیادی در دیگر مرحل مدل‌سازی دارد. برای واسنجی این پارامتر از سطح ایستابی مشاهده شده در مهرماه ۱۳۸۷ در حالت ماندگار استفاده شد. بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی، در این ماه بارندگی اتفاق نیفتاده و در نتیجه تغذیه‌ی مستقیم ناشی از بارندگی صفر است؛ همچنین رودخانه‌ی دهگلان در این دوره خشک بوده و تأثیر آن اعمال نشده است. نقشه‌ی هدایت هیدرولیکی به دست آمده از واسنجی مدل در شکل ۲ آمده است، بیشترین میزان هدایت هیدرولیکی در نواحی ورودی دشت در نزدیکی ارتفاعات بوده (جنوب تا جنوب شرقی) و کمترین مقادیر آن در خروجی دشت است. بالا بودن هدایت هیدرولیکی نشان‌دهنده‌ی سبک بودن خاک و دال بر قابلیت بالاتر آبخوان برای انتقال آب و در نتیجه آبدهی بالای چاه‌ها می‌باشد (لاله‌زاری و کراچیان، ۱۳۹۶). پس از واسنجی هدایت هیدرولیکی سطح آبی که مدل پیش‌بینی می‌کند باید نزدیک سطح آب مشاهده شده در پیزومترها باشد. در شکل ۳ نیز سطح آب در حالت پایدار در مهر ۱۳۸۷ نشان داده شده است.

واسنجی آبدهی ویژه

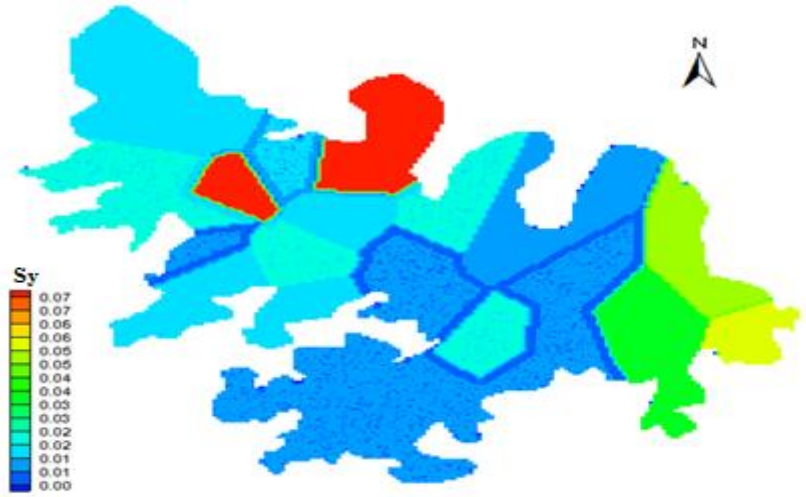
دومین پارامتر واسنجی شده، آبدهی ویژه در شرایط غیرماندگار می‌باشد. (معیار مجذور میانگین مربعات خطا) RMSE ۱/۲۴ متر محاسبه شد. نقشه‌ی به دست آمده از مقادیر آبدهی ویژه در شکل ۴ آمده است، نواحی شرقی، میانی و نقاط خروجی دشت بالاترین مقادیر آبدهی ویژه را دارند. تعداد زیادی از چاه‌های برداشت آب مورد نیاز کشاورزی نیز در بخش‌های میانی و خروجی دشت حفر شده اند. بر اساس آزمون پمپاژ صورت گرفته در منطقه میانگین آبدهی ویژه در کل آبخوان ۰/۰۱۹ برآورد شد (گزارش دفتر مطالعات پایه‌ی منابع آب، ۱۳۸۹) و بر اساس نتایج حاصل از واسنجی مدل، میانگین آبدهی ویژه (۰/۰۰۵) بالاتر از مقدار پیشنهادی پس از انجام آزمایش پمپاژ می‌باشد. شکل ۵ نشان‌دهنده‌ی انطباق خوب مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح آب پیزومترها در پایان واسنجی در حالت ماندگاراست. معیار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) در حالت ماندگار مقدار را ۰/۷۷ متر و در حالت غیرماندگار ۱/۲۴ متر نشان داد. شکل ۶ خطوط هم‌پتانسیل مشاهده‌ای و محاسبه شده توسط مدل را در حالت پایدار نشان می‌دهد. خطوط آبی رنگ سطح آب مشاهده‌ای و خطوط قرمز رنگ سطح آب محاسبه شده توسط مدل است و مقایسه بین نقشه‌های کنتوری

مشاهده‌ای و محاسبه شده یک معیار کیفی و بصری از شباهت بین الگوها را فراهم می‌کند. بر پایه نقشه ذیل سطح آب در جای جـای دشـت متفـاوت و تـابع شـرایط بهـره‌بـرداری از آبخوان و توپوگرافی و خصوصیات فیزیکـی خـاک از حـداکثر ۵۰ متر در بخـش‌هـای میانی تا ۲۵ متر در بخش‌های خروجی متغیر می‌باشد.

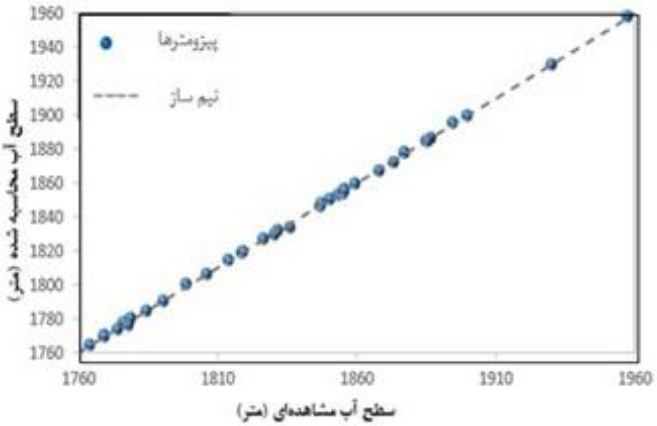
شکل ۲. مقادیر هدایت هیدرولیکی پس از واسنجی بر حسب متر بر روز



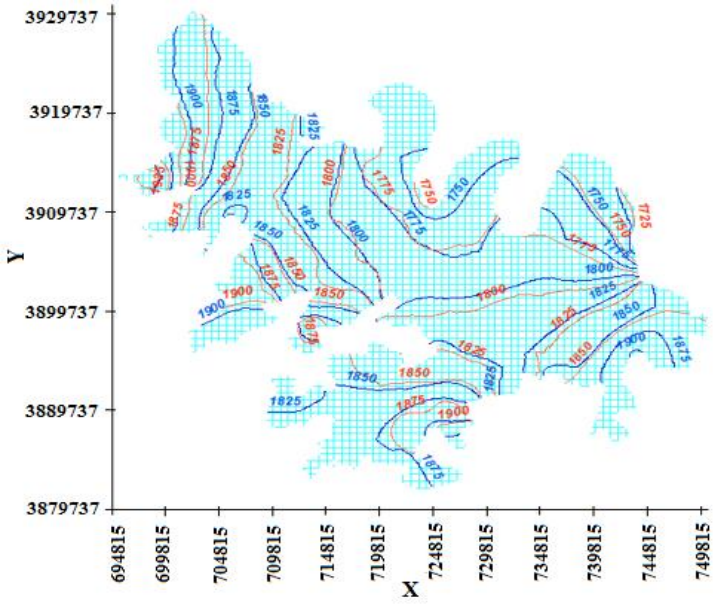
شکل ۳. نقشه هم‌ارزش ارتفاع سطح آب زیرزمینی حاصل از شبیه‌سازی در شرایط پایدار در سال ۱۳۸۷



شکل ۴. مقادیر آبدهی ویژه پس از واسنجی آبخوان دشت دهگلان



شکل ۵. برازش مقادیر سطح آب مشاهده‌ای و محاسبه شده در ۳۸ پیزومتر در حالت پایدار



شکل ۶. خطوط هم‌پتانسیل در حالت مشاهده‌ای و محاسبه شده

آنالیز حساسیت

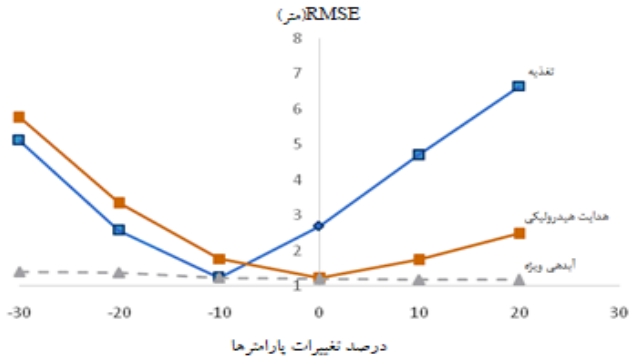
همانگونه که پیشتر نیز اشاره گردید، آنالیز حساسیت به منظور تعیین حساسیت مدل در صورت تغییر در مقادیر ورودی انجام می‌گیرد. به‌این‌منظور، در این مطالعه حساسیت مدل به پارامترهای هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و تغذیه به دست آمد. در گام اول، مقدار اولیه هدایت هیدرولیکی واسنجی شده در سلول‌های شبکه به میزان ۱۰،۲۰،۳۰ درصد مقدار اولیه کاهش یافت و در مرحله بعد همین درصدها به مقدار هدایت هیدرولیکی اضافه گردید. مدل در شش حالت جدید بدون تغییر در سایر پارامترهای ورودی اجرا شد. واریانس خطا در کل آبخوان محاسبه و در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد، مدل آبخوان دشت دهگلان، حساسیت بیش‌تری به کاهش هدایت هیدرولیکی نسبت به افزایش آن نشان می‌دهد. آنالیز حساسیت آبدهی ویژه با قرار دادن مقدار واقعی هدایت هیدرولیکی و اعمال تغییرات ۱۰،۲۰،۳۰ درصدی در آبدهی ویژه انجام شد. پس از اجرای مدل، نمودار آنالیز حساسیت، وضعیتی مشابه با هدایت هیدرولیکی را نشان می‌دهد و با کاهش آبدهی ویژه واریانس خطای کل تغییر بیش‌تری نشان می‌دهد. سومین مورد در آنالیز حساسیت نیز با ثابت نگه داشتن مقادیر آبدهی ویژه و هدایت هیدرولیکی در مورد عامل تغذیه انجام پذیرفت. بر خلاف ضرایب هیدرودینامیکی، مدل نسبت به تغذیه هم در حالت کاهش هم افزایش آن عکس‌العمل نسبتا یکسانی نشان می‌دهد و با کاهش و افزایش تغذیه مقدار واریانس هر دو افزایش می‌یابد. در نتیجه مدل به کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش تغذیه حساسیت بیش‌تری نشان می‌دهد.

صحت‌سنجی

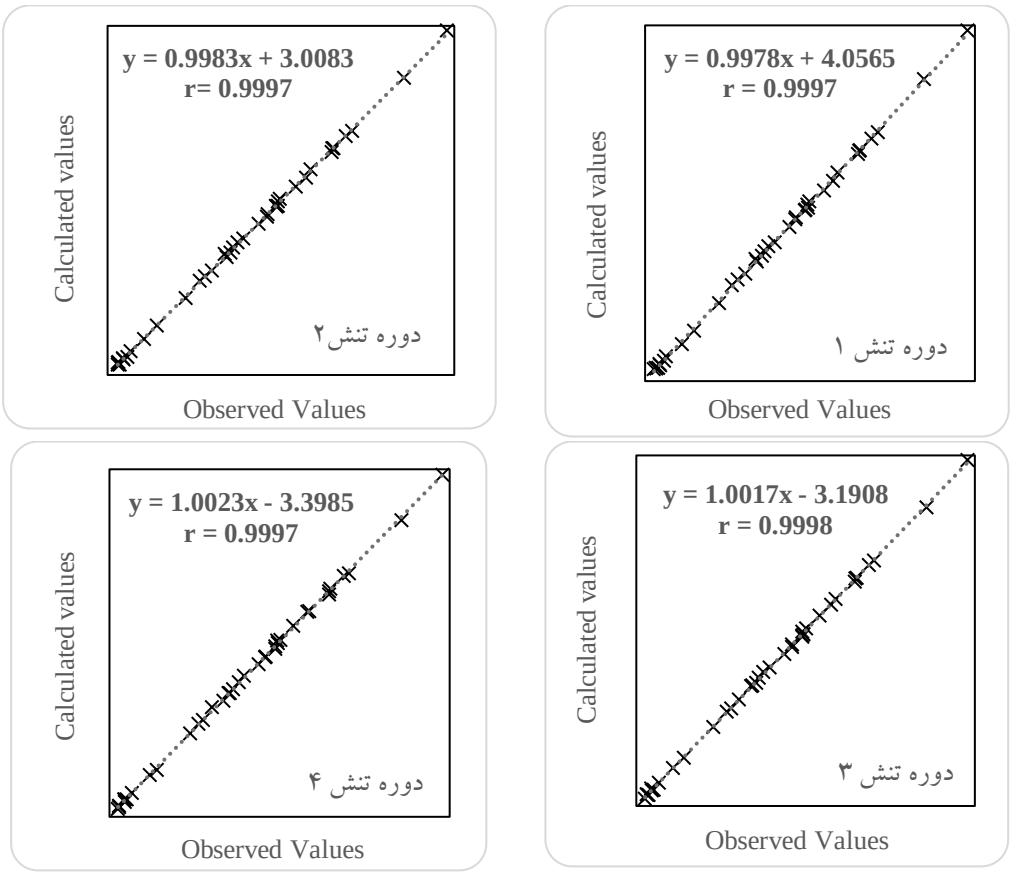
تأیید مدل تهیه شده با پیش‌بینی بار هیدرولیکی برای یک دوره‌ی زمانی ۴ ماهه از آبان ماه ۱۳۹۴ تا بهمن ۱۳۹۴ با ۴ دوره ی تنش و مقایسه‌ی آن با بار هیدرولیکی مشاهداتی انجام گرفت. در این مرحله معیار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱/ ۰۵ متر محاسبه شد. در شکل ۸ مقادیر محاسباتی و مشاهداتی در تک تک دوره‌های تنش مقایسه شده‌اند. در این شکل محورهای عمودی نشان‌دهنده‌ی مقادیر محاسباتی و محورهای افقی نشان‌دهنده‌ی مقادیر مشاهداتی هستند. موقعیت نقاط نسبت به خط نیمساز و مقدار بالای ضریب همبستگی نشان‌دهنده‌ی توانایی مدل در پیش‌بینی شرایط آینده‌ی آبخوان است.

پیش‌بینی وضعیت آبخوان با فرض ادامه روند کنونی

با فرض ادامه روند کنونی، مدل برای ۶ سال آینده یعنی تا سال ۱۴۰۱ اجرا گردید. از آنجا که برداشت بیش از اندازه از آبخوان منجر به کاهش سطح ایستابی شده است، به بررسی آن پرداخته شد.



شکل ۷. مقایسه آنالیز حساسیت برای سه عامل هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و تغذیه

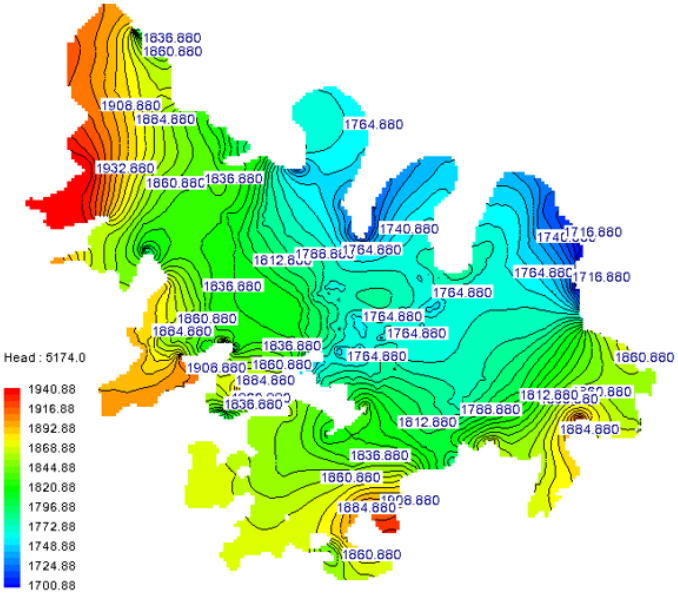


شکل ۸. مقایسه‌ی مقادیر محاسبه شده و مشاهده‌ای در مرحله صحت سنجی

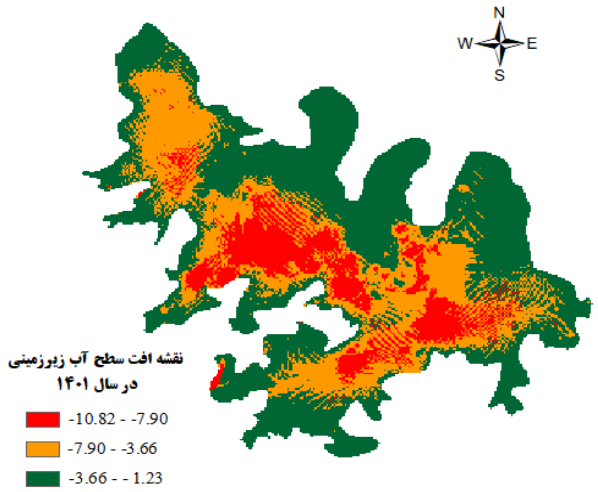
افت سطح آب زیرزمینی

شکل ۹ نقشه سطح آب زیرزمینی در سال ۱۴۰۱ را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۱۰، مقدار و محل افت سطح آب را در دشت در دوره‌ی پیش‌بینی نشان داده شده است. بدیهی است در مناطقی که تراکم چاه‌های پمپاژ وجود دارد، افت بیش‌تری نسبت به سایر نقاط بوده است. بر این اساس، بیش‌ترین افت سطح آب به میزان ۱۰ متر در میانه‌های دشت دهگلان رخ داده با ادامه‌ی این روند افت سطح آب در سال‌های آینده از خروجی دشت به سمت قسمت‌های جنوبی (ورودی دشت) پیش خواهد رفت. در دشت دهگلان با توجه به تراکم چاه‌های بهره‌برداری در مناطق کشاورزی واقع در میانه دشت، و همچنین خود شهر دهگلان واقع در مرکز منطقه و پمپاژ زیاد این چاه‌ها، در این قسمت‌ها نسبت به قسمت‌های دیگر دشت، افت بیش‌تری در سطح آب زیرزمینی انتظار می‌رود (گزارش دفتر مطالعات پایه‌ی منابع آب، ۱۳۸۹) مطالعه برآمده از مطالعه فعلی نیز چنین نتایجی را نشان می‌دهد.

روند تغییرات حداکثر، حداقل و متوسط هر یک از پارامترهای کیفی در دوره ۱۳۹۴-۱۳۸۷ مورد ارزیابی قرار گرفت و با استانداردهای ملی پارامترهای کیفی (حد مطلوب و حد مجاز آب) مقایسه شد تا مشخص شود میزان هر پارامتر کیفی آب زیرزمینی در کدام سال‌ها از حد مجاز بیش‌تر و در کدام سال‌ها از حد مجاز کمتر بود. خلاصه‌ایی از آمار پارامترهای شیمیایی در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دهگلان در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.



شکل ۹. نقشه سطح آب زیرزمینی سال ۱۴۰۱ با فرض ادامه روند کنونی



شکل ۱۰. شبیه‌سازی نقشه افت سطح آب زیرزمینی در سال ۱۴۰۱با فرض ادامه روند کنونی

جدول ۲. آمار هدایت الکتریکی در نمونه‌های اندازه‌گیری شده آب زیرزمینی طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۴

پارامتر	سال	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
EC (µmoh/cm)	۱۳۸۷	۳۱۴	۸۶۴	۴۴۲/۰۶	۱۲۳/۱۷
	۱۳۸۸	۳۱۸	۸۷۲	۴۴۲/۲	۱۱۱/۴۷
	۱۳۸۹	۳۱۵	۹۰۴	۴۴۸/۰۴	۱۲۴/۹۱
	۱۳۹۰	۳۱۰	۹۲۰	۴۴۵/۰۵	۱۲۲/۵
	۱۳۹۱	۳۱۰	۹۶۰	۴۴۸/۸۸	۱۲۸/۱۶۸
	۱۳۹۲	۲۷۰	۹۰۴	۴۴۵/۳۶	۱۱۴/۲۵
	۱۳۹۳	۲۹۸	۸۹۶	۴۳۴/۲	۱۱۷/۴۸
	۱۳۹۴	۲۷۲	۷۶۵	۴۲۴/۴۱	۹۲/۳۷

جدول ۳. آمار غلظت املاح محلول در نمونه‌های اندازه‌گیری شده آب زیرزمینی طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۴

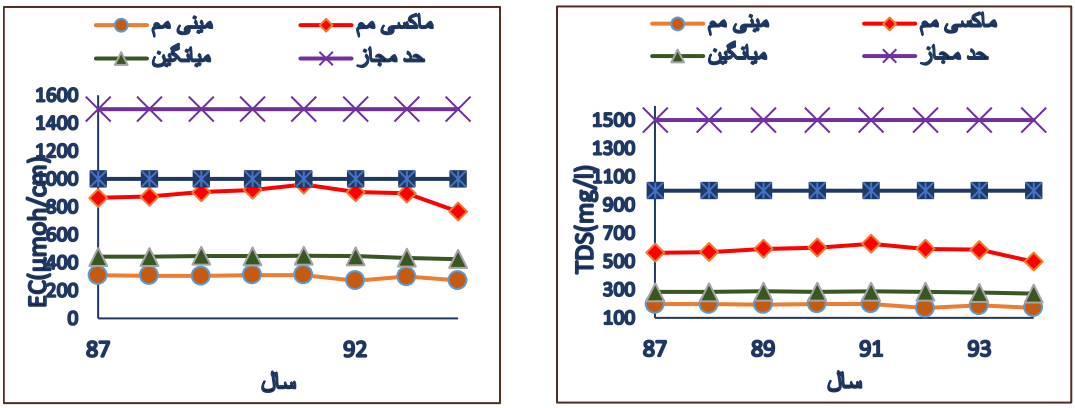
پارامتر	سال	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
TDS (mg/l)	۱۳۸۷	۲۰۱	۵۶۲	۲۸۳/۵۵	۸۰/۶۵
	۱۳۸۸	۲۰۴	۵۶۷	۲۸۳/۵۸	۷۳/۱۳
	۱۳۸۹	۲۰۲	۵۸۸	۲۸۷/۳۹	۸۱/۸
	۱۳۹۰	۱۹۸	۵۹۸	۲۸۵/۵۷	۸۰/۰۷
	۱۳۹۱	۱۹۸	۶۲۴	۲۸۷/۸۲	۸۳/۷۷
	۱۳۹۲	۱۷۰	۵۸۸	۲۸۴/۹۱	۷۴/۶۷
	۱۳۹۳	۱۸۸	۵۸۲	۲۷۸/۰۵	۷۶/۷۶
	۱۳۹۴	۱۷۱	۴۹۷	۲۷۱/۶۳	۵۹/۷۹

باتوجه به جدول ۲، میزان املاح کل (TDS) در سال ۱۳۹۱ بیش‌ترین نوسان را داشته و در تمام این ۸ سال از مقادیر ۱۷۰ و ۶۲۴ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب کم‌تر و بیش‌تر دیده نشده است برای پارامتر هدایت الکتریکی در سال ۱۳۹۱ دارای نوسان بیش‌تری است و کم‌ترین و بیش‌ترین مقداری که طی این ۸ سال برای آن مشاهده شده است به ترتیب ۲۷۰ و ۹۶۰ میکروموس بر سانتی‌متر بود،کم‌ترین و بیش‌ترین انحراف معیار برای هر دو پارامتر به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۱ می‌باشد که نشان دهنده‌ی نوسان مقادیر این پارامترها می‌باشد. نمودار روند تغییرات هریک از پارامترهای شیمیایی در شکل ۱۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد حداکثر حد مجاز از استانداردهای ملی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی به‌منظور بررسی وضعیت کیفی آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه استفاده شده است. با بررسی هر دو نمودار و مقایسه با حد مجاز و حد مطلوب مشخص شده مقدار ماکزیمم هدایت الکتریکی درسال ۱۳۹۱ به طور محسوس بالا رفته و تقریبا نزدیک حد مطلوب است ولی از آن حد بیش‌تر نبوده در نتیجه چون در هر دو پارامتر مقدار میانگین پایین‌تر از حد استاندارد مطلوب است نشان می‌دهد که آب چاه‌های مورد مطالعه برای کشاورزی مناسب است. در این پژوهش روش کریجینگ به عنوان بهترین روش زمین آمار در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ انتخاب شد و با استفاده از آن نقشه تغیرات مکانی پارامترهای EC و TDS دشت دهگلان پهنه‌بندی شد. در شکل ۱۲ نقشه پهنه‌بندی EC و TDS برای سال ۱۳۸۷ و هشت سال بعد از آن برای سال ۱۳۹۴ که میزان سطح آب کم شده آورده شده است.

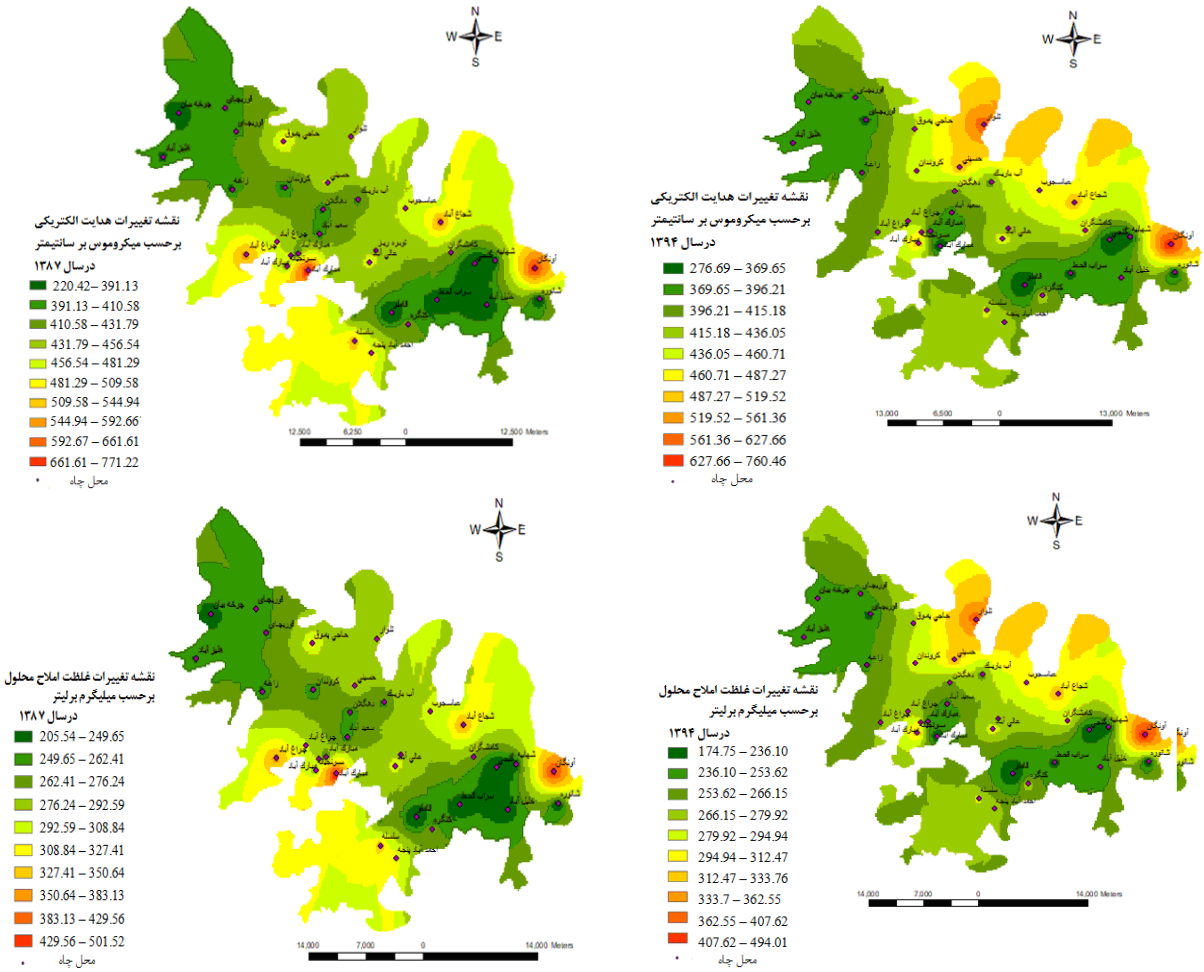
نحوه تغییرات TDS و EC مشابه یکدیگر هستند هدایت الکتریکی در آب‌های زیرزمینی تابعی از مقدار مواد جامد حل شده و درجه حرارت می‌باشد و با افزایش آن مقدار هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد، نامداری و هوشمندزاده (۱۳۹۸) نیز در پژوهشی به همبستگی بین این دو پارامتر اشاره کردند. یکی از دلایل اصلی این تشابه تغییرات TDS با EC، ارتباط خطی این دو پارامتر است در سال ۱۳۸۷ در قسمت جنوب، شرق و شمال شرقی دشت مقدار EC و TDS بالا بوده و قسمت غرب و جنوب شرقی دشت بهترین مناطق از نظر غلظت کمتر هدایت الکتریکی و غلظت املاح محلول می‌باشند. با توجه به نقشه پارامترهای EC و TDS در سال ۱۳۹۴ افزایش مقادیر هدایت الکتریکی و غلظت املاح محلول در قسمت شمال و شرق دشت مشاهده می‌شود. شکل ۱۳ تغییرات پارامترهای EC و TDS را به طور محسوسی نشان می‌دهدکه حاصل تفریق دو نقشه برای هر پارامتر در سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۴ است. نقشه‌های تغییرات نشان

می‌دهد غلظت مولفه‌های کیفی در قسمت شمالی دشت افزایش یافته و در قسمت جنوبی کاهش یافته است. در قسمت شرقی دشت در روستای آونگان با توجه به وجود شهرک صنعتی و همچنین به دلیل تخلیه فاضلاب‌های شهری به قسمت شمالی دشت احتمال می‌رود افزایش آلاینده‌ها در این ناحیه به همین دلیل باشند. که همواره مقادیر این پارامترها در طول این دوره زیاد بوده است.

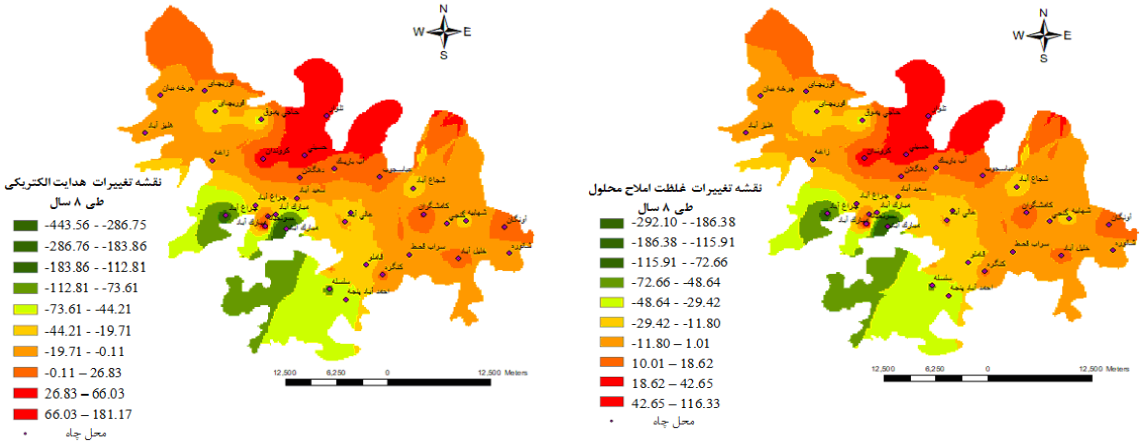
مقدار پارامترهای کیفی (EC و TDS) به دلیل کاهش سطح آب و کاهش تغذیه آبخوان در سال‌های اخیر افزایش یافته است. همچنین در قسمت جنوب دشت که چاه بهره‌برداری کم‌تری در آن قرار دارد و ورودی دشت محسوب می‌شود مقدار پارامترهای کیفی در روستای مبارک آباد ۲ کاهش یافته است.



شکل ۱۱. روند تغییرات پارامترهای شیمیایی



شکل ۱۲. نقشه تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی و غلظت املاح محلول



شکل ۱۳. نقشه هدایت الکتریکی و غلظت املاح محلول طی ۸ سال

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف شبیه‌سازی منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود و مقایسه رابطه تغییرات سطح آب با روند تغییرات پارامترهای شیمیای (EC و TDS) صورت گرفته است. نتایج حاصل از صحت‌سنجی نشان داد که مدل توانایی پیش‌بینی شرایط آینده‌ی آبخوان را دارا می‌باشد. در نتیجه پیش‌بینی با در نظر گرفتن اثرات محتمل وارد بر آبخوان با ادامه روند کنونی مدنظر قرار گرفت. با اعمال این روند در دشت دهگلان نشان داد که کاهش افت سطح آب از قسمت‌های شمالی دشت به سمت مرکز و خروجی دشت ادامه خواهد داشت. همچنین در این پژوهش پس از بررسی وضعیت پارامترهای کیفی از روش‌های زمین‌آماری برای تخمین و پهنه‌بندی پارامترهای کیفی استفاده شد. مطابق نتایج حاصل از این پژوهش روش کریجینگ دارای معیارهای مناسب‌تری نسبت به روش معکوس فاصله وزنی و شبکه توابع پایه شعاعی بوده است. نتایج حاصل از رسم نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای مورد مطالعه نشان دهنده‌ی این مطلب است که وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی برای هر دو پارامتر در سال ۱۳۸۷ قسمت شرق، شمال شرقی و قسمت جنوبی دشت و نیز در سال ۱۳۹۴ قسمت شمال و شرق دشت در وضعیت مطلوبی قرار ندارد، این مطلب به وضوح در نقشه‌های پهنه‌بندی رسم شده قابل مشاهده می‌باشد. کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در طی سال‌های اخیر به دلیل برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب‌های زیرزمینی و همچنین افزایش خشکسالی و بالا رفتن دمای کره زمین می‌باشد از طرف دیگر ورود فاضلاب‌های خانگی و شهری و پسماندهای صنعتی و آبشویی کودهای زراعی عامل افزایش آلودگی و کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت دهگلان می‌باشند. برای بررسی اثر تغییرات افت سطح آب بر کیفیت آب زیرزمینی در نتایج نشان داد روند تغییرات کیفی تقریبا در راستای تغییرات سطح آب بوده است.

منابع

ادب، ح.، فلاح قالهری، غ.، و میرزابیاتی، ر (۱۳۸۷) ارزیابی روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه DEM در تهیه نقشه هم بارش سالانه در استان خراسان رضوی. همایش ژئوماتیک.

بیات ورکشی، م.، فصیحی، ر.، زارع ابیانه، ح (۱۳۹۷) شبیه‌سازی عددی مسیر جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت همدان-بهار، نشریه سلامت و محیط‌زیست. دوره ۱۱، شماره ۱، ص ۴۹-۶۲.

حسنی پاک، ع.ا. (۱۳۸۹). زمین آمار (ژئواستاتیستیک)". انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۳۱۴.

دفتر مطالعات پایه‌ی منابع آب (۱۳۸۹) بهنگام‌سازی بیلان منابع آب حوزه آبریز سفیدرود بزرگ در سال آبی ۸۹-۸۸. وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت سهامی آب منطقه‌ای کردستان.

دماوندی، ع.، کریمی، ع.، تکاسی، م.، و طاهری، م (۱۳۸۴) بررسی تغییرات کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی استان زنجان. سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران.

رضایی، م.، جمعه‌نیا، ج.، و خدائی، ک (۱۳۸۹) مکان‌یابی محل مناسب اجرای تغذیه مصنوعی در آبخوان دشت حصاروئیه به کمک مدل ریاضی و GIS. نشریه زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۱، شماره ۱، ص ۶۷-۷۹.

شعبانی، م (۱۳۸۷) بررسی تغیرات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان. فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، دوره ۱، شماره ۳ ص ۷۱-۸۲.

صاحب‌جلال، ا.، دهقانی، ف.، و طباطبایی‌زاده، م. س (۱۳۹۱) تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ (مطالعه موردی: دشت بهادران مهریز). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، دوره ۶۵، شماره ۷، ص۵۱-۶۱.

فرپور، ا.، رمضانی، ی.، و اکبرپور، ا (۱۳۹۷) شبیه‌سازی عددی روند تغییرات کروم در آبخوان دشت بیرجند. مجله آبیاری و زهکشی، دوره ۱۲، شماره ۵، ص ۱۲۰۳-۱۲۱۶.

فصیحی، ر.، زارع‌ابیانه، ح.، و بیات ورکشی، م (۱۳۹۷) شبیه‌سازی کمی و کیفی آبخوان همدان بهار با استفاده از GMS7.1 و MT3DMS، یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک و بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران. دانشگاه بوعلی سینا، ص ۱-۸.

قمشیون، م.، ملکیان، آ.، حسینی، خ.، قره‌چلو، س.، و خاموشی، م. ر (۱۳۹۱) بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت سمنان-سرخه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. دوره ۱۹، شماره ۳، ص، ۵۴۵-۵۳۵.

کریمی جعفری، م.، و اسلامیان، س (۱۳۹۰) ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل. نخستین کنفرانس ملّی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، ۱ و ۲ آذرماه، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. گزارش هیدروژئولوژی دشت نهاوند سال ۹۰، شرکت آب منطقه‌ای استان همدان.

لاله‌زاری، ر.، و کراچیان، ر (۱۳۹۶) مدل‌سازی کمی و کیفی جریان آب زیرزمینی در آبخوان شهرکرد. مجله آبخوان و قنات، دوره ۱، شماره ۱، ص ۲۶-۳۷.

محمدی، ص.، سلاجقه، ع.، مهدوی، م.، و باقری، ر (۱۳۸۶) مقایسه برخی از روش‌های زمین‌آماری در بررسی تغییرات مکانی غلظت املاح محلول آب زیرزمینی دشت کرمان. نخستین همایش منطقه‌ای آب‌های زیرزمینی، ۳۰ آبان ماه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان.

مقدم، ع. ر.، قلعه‌بان تکمه داش، م.، و اسماعیلی، ک (۱۳۹۱) بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک گرگان، دوره ۲۰، شماره ۳، ص ۲۲۵-۲۱۱.

نامداری، ح.، و هوشمندزاده، م (۱۳۹۸) روندیابی و تحلیل آماری کیفیت آب رودخانه کارون در ایستگاه آب‌سنجی ملاثانی، نشریه علم اکوبیولوژی تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ۱۱(۳۸)، ص ۵-۲۲.

نظری‌زاده، ف.، ارشادیان، ب.، زندوکیلی، ک.، و نوری امامزاده‌ای، م. ر (۱۳۸۵) بررسی تغییرات مکانی آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان. مجموعه مقالات اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود (فرصت‌ها و چالش‌ها)، ۱۴ و ۱۵ شهریور، دانشگاه شهرکرد، ص ۱۲۳۶-۱۲۴۰.

Davis, J. C (1986) Statistics and data analysis in geology, John Wiley and Sons, New York, 646p.

Gaus, I., Kinniburgh, D. G., Talbot, J. C., and Webster, R (2003) Geostatistical analysis of arsenic,concentration in grandwater Bangladesh using disjunctive kriging. Environmental Geology, 44 (8): 939 -94.

Hakan, A (2012) Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra Plain, Turkey. Agricultural Water Management, 113 (1): 57-63 .

Hoek, W. V. D., Konradsen, F., Ensink, J. H. J., Mudasser, M., and Jensen, P. K (2001) Irrigation water as a source of drinking water: Is safe use possible, Tropical Medi. Int. Health, 6 (1): 46-54.

Hevesi, J. A., Istok, J. D., and Flint, A. L (1992) Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I: structural analysis. Journal of applied meteorology, 31 (7): 661-676.

Kannel, P. R., Lee, S., and Lee, Y. S (2008) Assessment of spatial–temporal patterns of surface and ground water qualities and factors influencing management strategy of groundwater system in an urban river corridor of Nepal. Journal of Environ Manage, 86 (4): 595–604.

Mirlas, V (2012) Assessing soil salinity hazard in cultivated areas using MODFLOW model and GIS tools: A case study from the Jezre'el Valley. Agricultural Water Management, 109 (1): 144–154.

Taheri Tizro, A., Fryar, A. E., Vanaei, A., Kazakis, N., Voudouris, K., and Mohammadi, P (2021) Estimation of total dissolved solids in Zayandehrood River using intelligent models and PCA. Sustainable Water Resources Management, 7(2): 1-13.

Taheri Tizro, A., Voudouris, K. S., and Akbari, K (2011) Simulation of a groundwater artificial recharge in a semi-arid region of Iran. Irrigation and Drainage, 60 (3): 393-403.

Yang, Q., and Lu, W (2011) Numerical Modeling of Three Dimension Groundwater Flow in Tongliao (China). Procedia Engineering, 24 (1): 638-642.

Evaluation of Quality parameters and Groundwater modeling of Dehgolan plain aquifer - Kurdistan province

A. Taheri Tizro[1*], Sh. Miraky[2] and R. Fasihi[3]

1- Assoc. Prof., Dept., of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2- M. Sc., of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
3- Ph. D. student of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

*** ttizro@basu.ac.ir**

Recieved: 2022/5/7 Accepted: 2022/8/14

Abstract

Due to uncontrolled abstraction of groundwater and drought appearance, are the main factors in increasing deteroation of the quality of groundwater. Modeling of Dehgolan plain, using MODFLOW by using GMS software with the aim of predicting groundwater water levels was attempted. The relationship between water level potential variations and the water quality parameters (EC and TDS) was investigated. Simulations were performed for a period of 8 years time (October, 2008 to February 2015). The model was calibrated for October, 2008 to October, 2015 and validated for four months. Calibration results in both steady and non-staedy states have shown that the hydraulic conductivity decreases in the southern part of the plain. The specific discharge increases in middle and northern parts. Sensitivity analysis showed that the model shows more sensitivity to decrease in hydraulic conductivity and increase in recharge. After verifying the model and ensuring the model's ability to predict the future of the aquifer, the forecast was made for 6 years, assuming the current trend continues until 2022. The possible effects on the aquifer with Continuation of the current trend were considered in Dehgolan plain. The result showed that the decrease of water level will continue in the northern parts of the plain. The quality parameters map (EC and TDS) were evaluated during 8 years. The trend of quality changes is almost similiar with variations in water level and in the northern part of the plain. With the continuation of the trend of water level abstarctions, the amount of quality parameters (EC and TDS) will deterioted in recent years. Also, in the southern part of the plain, the quality parameters have deterioted.

Keywords: Dehgolan Plain, MODFLOW, GMS, Groundwater Quality, Kriging