# شبیه سازی پراکندگی و تعیین منشاء آلاینده های کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت نوبندگان)

**سید امیر بیژن الهامیان[1]، غلامرضا رخشنده رو[2]* ، امیر حسین جاوید[3]**

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

۲*- استاد بخش مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

rakhshan@shirazu.ac.ir

۳ -عضو هیئت علمی گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، علوم و تحقیقات ، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۲/۲۴

## چکیده

**با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و نیازهای کشاورزی ایشان، دسترسی به آب یک بحران جدی تلقی می شود. هدف از انجام این مقاله، شبیه سازی منابع آب زیرزمینی به صورت مطالعه موردی در دشت نوبندگان فارس و بدست آوردن مسیر و شدت جریان آبخوان و تعیین پراکنش و منشا آلاینده های کیفی در آن با استفاده از نرم افزار GMS می باشد. هیدرولیک جریان آب زیرزمینی در این دشت ابتدا شبیه سازی، واسنجی و صحت سنجی گردیده است. سپس با مشخص شدن شدت و مسیر حرکت جریان آبخوان دشت و تعامل آن با آبخوانهای مجاور، پراکنش آلاینده های کیفی بررسی و شبیه سازی گردیده است. در انتها، با درون یابی اطلاعات کیفیت آب، منشا احتمالی آلاینده ها در دشت بررسی و تعیین گردیده است. بیشینه پارامترهای سختی و شوری آب دشت به ترتیب ۱۲۷۲ (mg/l.CaCO3) و ۳۱۷۸ (µ mho/cm) می باشد که نسبتا زیاد بوده و نشان دهنده کیفیت پایین آب دشت می باشد. مقادیر این آلاینده ها در نواحی مرکزی دشت که ضخامت آبخوان افزایش یافته و قدری رقیق سازی صورت گرفته، کاهش می یابد. کیفیت آبخوان از لحاظ شوری در دسته ی لب شور و از لحاظ سختی در دسته بسیار سخت قرار می گیرد. بررسی نقشه کاربری اراضی در دشت نشاندهنده آنست که منابع احتمالی آلودگی آبخوان در نواحی متراکم زمین های کشاورزی در نواحی شمالی، در اطراف شهر نوبندگان و محل روستاها در شمال دشت می باشند. بهمین ترتیب غلظت آلاینده ها در نواحی مرکزی دشت به علت نبود شهر، روستا و افزایش ضخامت آبخوان کاهش می یابد.**

***کلمات کلیدی: شبیه سازی آب زیرزمینی، منشا آلودگی، مدیریت کیفی، GMS، نوبندگان فارس***

**مقدمه**

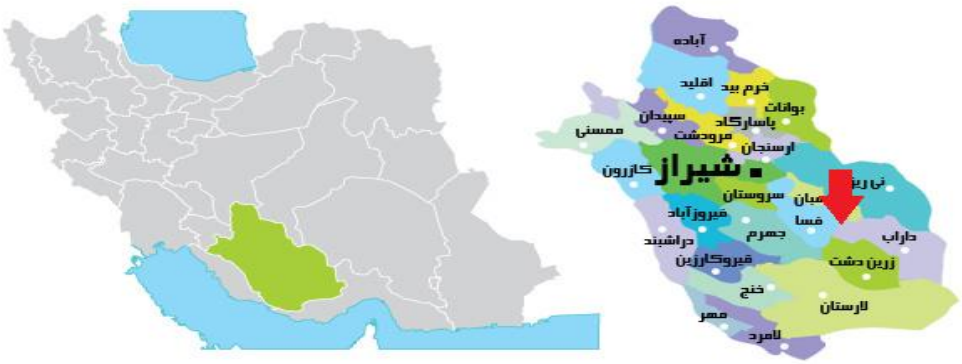
در جوامع انسانی، بخش کشاورزی به دلیل آبیاری محصولات، میزان زیادی آب مورد استفاده قرار می‌دهد. از سال ۱۹۶۰ میانگین جهانی میزان برداشت آب از منابع به منظور آبیاری زمین‌ها ۶۰٪ افزایش یافته است و این در حالیست که بین ۲۰٪ تا ۳۰٪ آن تبخیر یا جاری شده و به هدر می‌رود. میزان برداشت آب در کشورهای درحال توسعه به علت نداشتن ابزار مناسب دوبرابر کشورهای توسعه‌یافته برای هر هکتار است، درحالی که میزان محصولات کشاورزی آن‌ها یک‌سوم می‌باشد. به‌علاوه، در اکثر نقاط خشک و نیمه‌خشک، به علت کمبود بارش‌های جوی، ۹۰٪ آب مورد نیاز برای آبیاری زمین‌ها از آب شیرین قابل شرب تأمین می‌گردد، درحالی که کشورهای توسعه‌یافته این رقم را به ۴۰٪ رسانده‌اند ( The World Factbook). در کشور ما ایران، برداشت های بی رویه از منابع آب زیرزمینی باعث ایجاد حالت بحرانی در ۳۸۸ دشت از مجموع ۶۰۹ دشت کشور شده است. این امر به معنای استخراج و استفاده از آبی است که طی هزاران سال در لایه های آبدار زمین ذخیره شده است. با این کار سطح آبهای زیرزمینی در منطقه روز به روز افت کرده و چون ایران کشوری کم باران محسوب می شود، سرانجام به جایی خواهد رسید که آبی برای استخراج وجود نخواهد داشت. پیامد اولیه این پدیده، خشکیدن قنوات و چشمه ها و کاهش آبدهی چاهها و سپس فرونشست زمین و توسعه بیابان و آنگاه از دست رفتن سرمایه گذاری های انجام شده در بخش کشاورزی و صنعت و در نهایت مهاجرت است (www.eghtesadonline.com). در این مقاله به بررسی منابع آب زیرزمینی دشت نوبندگان فارس از لحاظ کیفی در طی ۲۳ سال گذشته و بدست آوردن پراکنش آلاینده های کیفی بهمراه بدست آوردن مسیر و شدت جریان با استفاده از نرم افزار GMS پرداخته شده است. در نهایت با درون یابی داده های کیفی و بدست آوردن جانمایی آلاینده های کیفی در آبخوان دشت و بررسی نقشه های کاربری اراضی، منشاء احتمالی آلودگی در دشت تعیین گردیده است. در این تحقیق سال آبی ۹۴-۹۳ برای واسنجی و سالهای بعد از آن برای صحت سنجی هیدرولیک آبخوان در نرم افزار GMS 10 در نظر گرفته شده است. با استفاده از نتایج این تحقیق می توان پیش بینی کرد که در مکان های متفاوت دشت میزان آلودگی آلاینده ها به چه میزان می باشد. همچنین می توان میزان بیشینه و کمینه غلظت آلودگی را مشخص و در نهایت منشا احتمالی آن را تخمین زد. مطالعات مدل سازی در ایران برای اولین بار در سال ۱۳۴۸ توسط سازمان خوار و بار جهانی صورت گرفت. در پی این اقدام مدل ریاضی دشت ورامین تهیه گردید. بعدها تا سال ۱۳۶۰ حدود ۲۰۰ آبخوان با مساحتی حدود ۵۵۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع در مرحله شناخت و حدود ۸۰ آبخوان با مساحتی در حدود ۲۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع در مرحله نیمه تفصیلی مورد بررسی قرار گرفته اند. در این مطالعات، برای مدلسازی عددی دشتها بیشتر از روش تفاضلات محدود و چند مورد از روش برنامه نویسی پویا استفاده گردیده است. شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و شناسایی سیستم هیدرولوژیکی آبخوان به کمک نرم افزار Visual MODFLOW ، پیش بینی وضعیت آینده آن در اثر تنشهای وارده و بررسی پارامترهای مختلف مدیریتی از قبیل امکان اجرای تغذیه مصنوعی در دشت ایذه (احمدی ۱۳۸۰). مدل سه بعدی برای آبخوان فوقانی و میانی ترینیتی با

به کار گیری نرم افزار MODFLOW در منطقه هیل کانتی در جنوب تگزاس به منظور شناسایی سیستم هیدروژئولوژی و کمک به تخمین میزان آب و نوسانات سطح آب نسبت به پمپاژ و پتانسیل خشکسالی در آینده (ایماس و همکاران ۲۰۰۳). راه حلی برای پیدا کردن مشکل بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی ناحیه یوما درایالت آریزونا، مدل تهیه شده شامل چهار لایه و بیش از ۳۰۰ عنصر می باشد. مساحت کل منطقه ۹۰۰ مایل مربع بوده و اندازه بخشهای آن از ۴۰ هکتار تا ۶۴۰ هکتار متغیر بوده است. در این مدل به بررسی پمپاژ آب توسط چاه‌ها، تغذیه آب کشاورزی، تبخیر وتعرق ازطریق کانالها و رودخانه‌های کلرادو وگیلا پرداخته شده و در انتها این نتیجه حاصل می‌شود که در اثر کم شدن تغذیه آب درآن ناحیه و علیرغم آبیاری زمینهای کشاورزی طی چهار سال، کاهش تراز سطح آب زیرزمینی مشاهده شده است (هیل ۲۰۰۹). اثرات احداث سد دودر بر روی دشت لادیز و مدیریت آبخوان را توسط مدل ریاضی MODFLOW Visual و اقدام به شناسایی بهترین مکان و مناسبترین زمان برای تغذیه آبخوان توسط آب جمع آوری شده پشت سد، ساخت یک حوضچه تغذیه مصنوعی برای تزریق آب به آبخوان و ماههای اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد به عنوان بهترین گزینه ها (سالاری ۱۳۸۶). روشی مناسب برای انجام همزمان توسعه زیرساختهای صنایع نفتی و شیمیائی با استفاده از مدل‌های عددی، که با استفاده از داده های چاه‌های پایش آلودگی آب زیرزمینیصورت گرفته است. برای مدل سازی جریان از نرم افزار PMWIN و برای مدل سازی آلودگی از موتور MT3D استفاده گردیده است (تالاری ۱۳۸۸). مطالعه مدیریت بهره برداری از آبهای زیرزمینی دشت مختاران به کمک مدل ریاضی تفاضلات محدود در محیط GMS (اکبرپور و همکاران ۱۳۸۹). تاثیر خشکسالی بر دشت شاهرود با به کارگیری نرم افزار GMS، ابتدا مدل مفهومی برای دشت تهیه شده، سپس داده های سال آبی ۸۵-۸۶ به مدل داده شده و در آخر واسنجی صورت گرفته است. بعد از تائید مدل به منظور بررسی تاثیر خشکسالی سال ۸۶-۸۷ به آبخوان دشت شاهرود، داده های این سال به مدل وارد و سپس مدل اجرا شده است. در این شرایط نیز انطباق خوبی بین دادههای مشاهده ای و محاسباتی مربوط به تراز سطح آب زیرزمینی وجود داشته است (ملکی و همکاران ۱۳۹۰). مدلسازی عددی جریان آب زیرزمینی در آبخوان محصور به روش ایزوژیومتریک، نتایج بدست آمده دقت بالای روش تحلیل ایزوژیومتریک را در مدلسازی آب زیرزمینی نشان داده است به طوریکه حداکثر خطای نسبی سطح آب زیرزمینی در روش ایزوژیومتریک نسبت به حل دقیق ۰/۰۰۰۱ بوده است (کلانتری و همکاران ۱۳۹۶). شبیه سازی عددی مسیر جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت همدان، ابتدا مدل هیدرولوژیکی دشت همدان - بهار تهیه و سپس جریان در دشت با کد عددی MODFLOW شبیه سازی شده است (بیات ورکشی و همکاران ۱۳۹۷). شبیه سازی جریان آب زیرزمینی و نفوذ آب شور در آبخوان دشت ملکان، مدل توانسته رفتار سیستم را به خوبی نشان دهد و تطبیق خوبی بین نتایج شبیه سازی مدل با داده های مشاهداتی برقرار گردد (عزیزی و همکاران ۱۳۹۸). بررسی پتانسیل نفوذ شورابه به منابع آب زیرزمینی آبخوان ساحلی ارومیه با استفاده از مدل‌سازی عددی، ارتباط بین آبخوان ارومیه و دریاچه ارومیه درکم‌ترین مقدار ممکن می باشد و احتمال نفوذ آب شور به این آبخوان بسیار کم است (امیری ۱۳۹۹). شبیه سازی منابع آب زیرزمینی در جنوب شرقی دریاچه بوستن با GMS، نتایج نشان می دهد که منابع آب زیرزمینی قابل بهره برداری در منطقه شبیه سازی شده حدود ۲۲/۰۴۵ میلیون مترمکعب در

هر ساعت است. تغییر شیوه مصرف آب کشاورزی تحت شرایط تعادل آب زیرزمینی موجود می تواند به طور موثری هدر رفت منابع آب زیرزمینی را کاهش دهد (کوانگ و همکاران ۲۰۱۹). شبیه سازی کمی آب های زیرزمینی به روش مدلسازی عددی در آبخوان رودخانه موژو با استفاده از GMS، نتایج نشان می دهد که منابع آب زیرزمینی موجود بحرانی می باشد. بنابراین پیشنهاد شده که بهره برداری از آب های زیرزمینی انجام گردد، کاهش و تخلیه برخی از چاه های کشاورزی نیز باید متوقف گردد (ژونگ و همکاران ۲۰۲۰). شبیه سازی جریان آب زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود با استفاده از نرم افزار GMS (مطالعه موردی: دشت قاین)، آنالیز حساسیت مدل نشان داده که مدل به تغییرات هدایت هیدرولیکی حساسیت بالایی داشته است (ملازاده و همکاران ۱۳۹۷). شبیه سازی تغییرات غلظت نیترات در آبخوان دشت قزوین با استفاده از سیستم مدل سازی آب زیرزمینی با استفاده از نرم افزار GMS، نتیجه گیری در بخش های وسیعی از آبخوان، غلظت نیترات کمتر از حد مجاز استاندارد ملی است. در مناطقی غلظت بالا مشاهده می شود دلیلش تخلیه فاضلاب و نفوذ آن به آبخوان منطقه بوده است. خروجی مدل نشان داده که ادامه این شرایط می تواند سبب آلودگی بیشتر آبخوان شده و قسمت های مرکزی آبخوان را نیز آلوده کند (زنگنه و همکاران ۱۳۹۸). شبیه سازی کمی منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت بهشهر- بندرگز با استفاده از مدل SWAT، نتایج تحلیل حساسیت، ۱۴ پارامتر صعود از آبخوان کم عمق، زمان تأخیر انتقال آب از آخرین پروفیل لایه خاک به سطح آب زیرزمینی، عمق اولیه آب در آبخوان کم عمق و عمیق، نفوذ به آبخوان عمیق، ضریب آلفا جریان پایه، ظرفیت آب قابل دسترس خاک، شماره منحنی رواناب، متوسط بیشترین شیب، ضریب جبران تبخیر خاک، عامل حفاظت فرسایش خاک، ضریب زبری مانینگ، عرض نوار صافی و فاکتور جبران تبخیر خاک را به عنوان حساس ترین پارامترها نشان داده است (محسنی و همکاران ۱۴۰۰). مفهوم سازی و توسعه مدل چند لایه آب زیرزمینی در شرایط گذرا، این مطالعه نشان داده که مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی یک روش مهم برای شناخت رفتار سیستم‌های آبخوان و تشخیص تراز آب زیرزمینی تحت تنش‌های مختلف هیدرولوژیکی است (عمر و همکاران ۲۰۲۰). تجزیه و تحلیل تغییرپذیری و روند تراز آب زیرزمینی با استفاده از kriging معمولی: مطالعه موردی دشت Sylhet، بنگلادش، یافته‌های حاصل از مدل‌سازی، به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر کمک می‌کند و بنابراین به سیاست‌گذاران در تصمیم‌گیری آگاهانه برای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی در این منطقه حساس کمک می‌کند (حسن و همکاران ۲۰۲۱). همانطورکه در تحقیقات پیشینیان دیده میشود نیاز است که دشتها و آبخوانها چه از لحاظ کمی و چه از لحاظ کیفی شبیه سازی و مدیریت شوند، مخصوصا آنهائی که تراز سطح ایستابی آنها طی سالها نزولی بوده (نظیر دشت نوبندگان). این امری است مهم که می توان بکمک آن از آسیبهای احتمالی منابع ارزشمند آب زیرزمینی در آینده جلو گیری کرد. هدف از انجام این مقاله، شبیه سازی منابع آب زیرزمینی به صورت مطالعه موردی در دشت نوبندگان فارس و بدست آوردن مسیر و شدت جریان آبخوان و تعیین پراکنش و منشا آلاینده های کیفی در آن با استفاده از نرم افزار GMS می باشد.

**معرفی دشت مورد مطالعه و روش انجام تحقیق**

محدوده مطالعاتی نوبندگان با کد ۲۶۳۲ یکی از محدوده های متعدد حوزه آبریز رودخانه مند می باشد. موقعیت مکانی دشت در ۲۰ کیلومتری شهرستان فسا به سمت داراب در استان فارس می باشد. محدوده مطالعاتی نوبندگان از دو بخش ارتفاعات و دشت تشکیل شده که هرکدام به ترتیب ۲۰۴/۵ و ۱۶۲/۵ کیلومترمربع وسعت دارند. تنها شهر این محدوده، نوبندگان است و واصل آباد، شیدانک، صدرآباد و شورابه از روستاهای مهم این محدوده می باشند. متوسط بارندگی سالانه در سطح این محدوده ۳۶۶/۳ میلیمتر گزارش شده است. در این محدوده منابع آب زیرزمینی تنها منبع موجود برای آب مصرفی می باشند و بیشترین مصارف شرب، صنعت و کشاورزی از منابع آب زیرزمینی که عمدتاً چاهها می باشند تأمین می گردد. بطوریکه از مجموع ۳۵/۱۳۷ میلیون مترمکعب تخلیه سالانه از منابع زیرزمینی ۳۰/۵۵ میلیون مترمکعب (۸۷٪) به مصرف کشاورزی و ۴/۵۸۷ میلیون مترمکعب (۱۳٪) به مصرف شرب و صنعت می رسد، شکل ۱ موقعیت این دشت در استان فارس را نشان می دهد (گزارش بیلان شماره ۲۶۳۲).

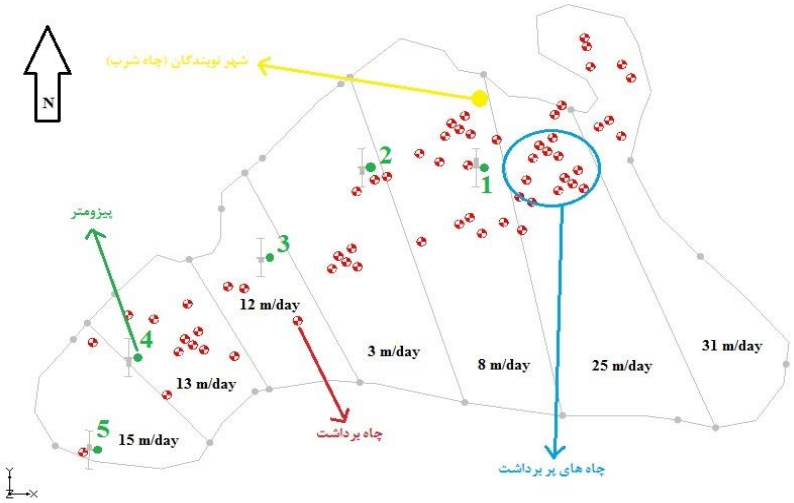


**شکل ۱: موقعیت دشت نوبندگان در استان فارس**

انتخاب دشت نوبندگان بدلیل وجود زمینهای کشاورزی و حاصلخیز و چاههای برداشت متعدد که از نظر آبدهی اهمیت بالائی دارند و نیز منفی بودن بیلان شدید آبی آن، صورت پذیرفته و اطلاعات چاههای برداشت، مشاهده ای، چشمه ها، قنوات و سایر خصوصیات هیدرولیکی آن از مطالعات، اندازه گیریها و گزارشهای سازمان آب منطقه ای استخراج گردیده است. نرم افزار های مختلف شبیه سازی جریان آب زیرزمینی بررسی گردیده و بدلیل توانائی گرافیکی بالا و قابلیت شبیه سازی پراکنش آلاینده های کیفی، نرم افزار GMS انتخاب گردیده است (www.aquaveo.com/GMS). به کمک این نرم افزار مدل مفهومی آبخوان تهیه و داده های مورد نیاز آماری دشت به نرم افزار وارد گردیده است. پس از تهیه مدل مفهومی، واسنجی (کالیبراسیون) با کمک کد PEST برای پارامترهایی مانند هدایت هیدرولیکی در تمام نقاط دشت صورت گرفته و ضرائب هدایت هیدرولیکی در نواحی مختلف در حالت پایدار بدست آمده اند. در این تحقیق سال آبی ۹۴- ۹۳ به علت تغییرات اندک هیدروگراف و نزدیک بودن رفتار آبخوان به حالت پایدار، برای واسنجی انتخاب شده است. پس از به دست آوردن ضرائب هدایت هیدرولیکی در حالت پایدار، مدل در حالت ناپایدار برای ضرائب آبدهی ویژه با داشتن ضرائب هدایت هیدرولیکی بدست آمده از حالت پایدار، کالیبره گردیده است. سپس صحت سنجی بر اساس دوره ی آماری در چند سال آتی صورت گرفته است. در نهایت مسیر و شدت جریان آب زیرزمینی مشخص گردیده است، که با داشتن آن می توان شبیه سازی کیفی در دشت را نیز انجام داد. با این شبیه سازی می توان پراکنش آلاینده های کیفی در دشت را در سال های مختلف بدست آورد و بررسی کرد. در نهایت با مشخص شدن جانمایی مکانی آلاینده ها در دشت، نقشه کاربری اراضی بررسی شده و منشاء احتمالی آلودگی ها در دشت تعیین شده است.

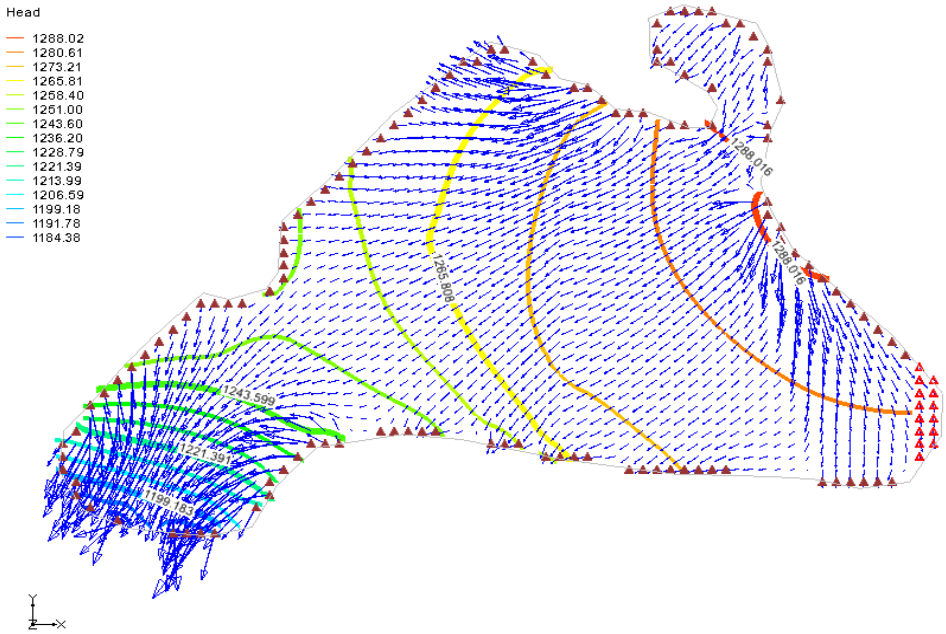
## نتایج و بحث

همانطور که گفته شد در مرحله اول رفتار هیدرولیکی آبخوان دشت شبیه سازی گردیده است. شکل ۲ موقعیت و محدوده دشت نوبندگان در مدل مفهومی ایجاد شده در نرم افزار، بهمراه موقعیت مکانی چاههای برداشت، زون بندی هیدرولیکی دشت و مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی در زونهای مختلف را نشان می دهد.




**شکل۲ جانمایی چاههای مشاهده ای و برداشت و نحوه زون بندی هیدرولیکی در دشت نوبندگان**

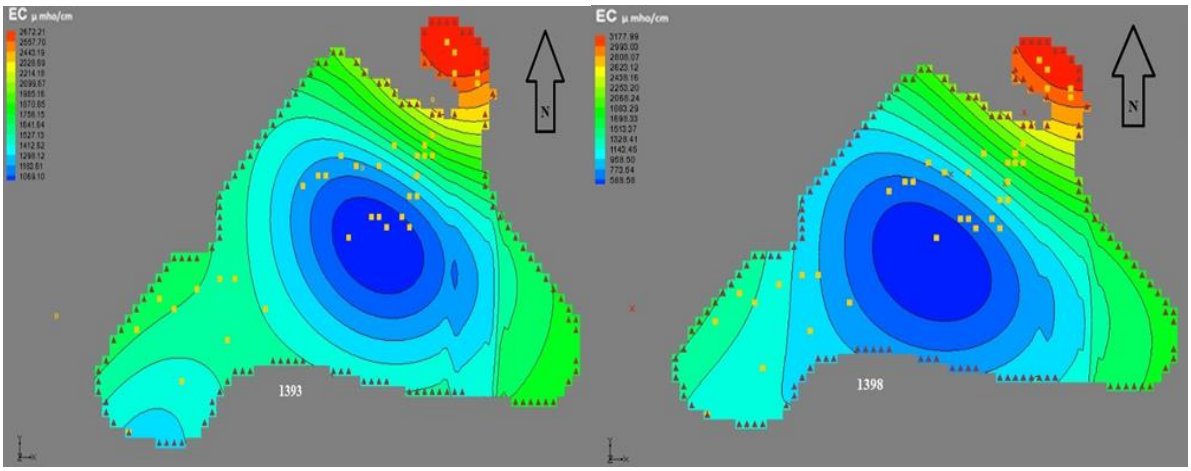
همان گونه که مشاهده می شود، مرز آبخوان که از مطالعات و گزارشهای سازمان آب تهیه شده است بصورت خط و نقطه های مرزی مشخص گردیده است. محل قرارگیری چاههای برداشت بصورت نقاط قرمز و چاههای مشاهده ای بصورت نقاط سبز رنگ در شکل نشان داده شده اند. قابل توجه است که تعداد چاههای برداشتی ۹۵ حلقه و چاههای مشاهده ای ۵ عدد هستند که بیشتر در نواحی شمال و غربی دشت پراکنده می باشند. دلیل این گونه پراکنش می تواند به این علت باشد که در نواحی شرقی دشت، عمق آبخوان بسیار کمتر بوده و آبادیهای کمتری در این نواحی قرار دارند. اغلب چاههای پربرداشت در ناحیه شمال غرب دشت می باشد که با دایره آبی رنگ مشخص گردیده اند. شهر نوبندگان نیز در همین ناحیه واقع شده که به همراه تنها چاه شرب موجود در دشت، با رنگ زرد مشخص گردیده است. اعداد مشکی رنگ، ارقام بدست آمده ضرائب هدایت هیدرولیکی بعد از کالیبراسیون مدل در حالت پایدار را نشان می دهند. همانطور که ملاحظه می گردد ضرائب هدایت هیدرولیکی در مرکز آبخوان کمترین مقدار و در نواحی شرقی و غربی به ترتیب بیشترین مقادیر را دارند. در نهایت با وارد کردن داده ها و آمار توپوگرافی و سنگ بستر به مدل و اجرای ناپایدار مدل برای کالیبراسیون ضریب آبدهی ویژه، مدل مفهومی آبخوان دشت تکمیل و مسیر و شدت جریان آب زیرزمینی بصورت کمی در آبخوان شبیه سازی می گردد (شکل۳).




**شکل ۳ مسیر و شدت جریان آب زیرزمینی در آبخوان دشت نوبندگان**

همان گونه که مشاهده می شود فلش ها مسیر جریان آب زیر زمینی و طول آنها، شدت جریان در آن نقطه را نشان می دهند. بطور کلی، جریان آب زیرزمینی از نواحی کوهستانی شمالی به سمت نواحی جنوب غرب دشت برقرار است که بیشینه تراز سطح ایستابی حدود ۱۲۸۸ متر و کمینه آن ۱۱۸۴ متر می باشد، که نشاندهنده بیش از ۱۰۰ متر اختلاف هد در سطح ایستابی آبخوان می باشد. در نواحی شمالی دشت و تا حدودی جنوبی دشت، سرعت جریان آب افزایش می یابد که می تواند به دلیل بالا تر بودن ضریب هدایت هیدرولیکی، شیب سطح ایستابی و همچنین کم شدن سطح مقطع عبور آب در این نواحی باشد. بعد از مشخص شدن رفتار هیدرولیکی آبخوان، با استفاده از نرم افزار و داده های کیفی، پراکنش هر آلاینده برای سال های مختلف در دشت بدست می آید. بر اساس اندازه گیریها و گزارش های سازمان آب، ۴ آلاینده کیفی آب زیرزمینی طی سال های ۷۵ تا ۹۸ در ۵ چاه مشاهداتی دشت اندازه گیری شده اند که سه از عدد از آنها (EC-TH-TDS) در این تحقیق بررسی شده اند. در ادامه، پراکنش هر کدام از آلاینده های کیفی که به صورت نمونه برای سال های ۹۳ و ۹۸ در دشت مورد بررسی قرار گرفته است، آورده شده است. شکل۴ تغییرات مکانی میزان EC برای سالهای ۹۳ و ۹۸ در دشت را نشان می دهد. این پراکنش مکانی از طریق درون یابی اندازه گیریهای مربوطه در چاههای مشاهداتی و بکمک نرم افزار GMS بدست آمده است.

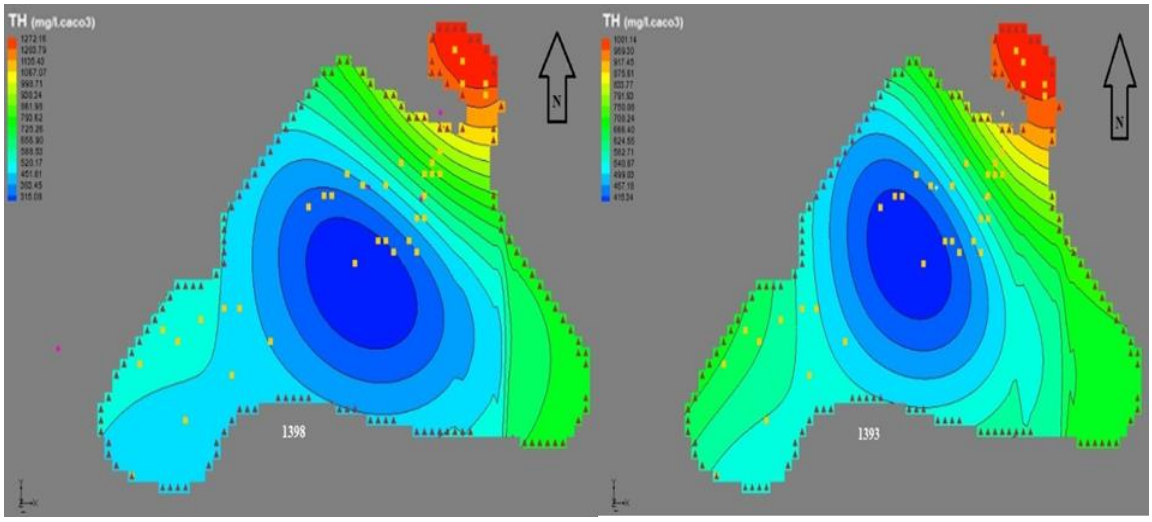
**شکل ۴ پراکنش آلاینده EC در دشت نوبندگان در سالهای ۹۳ و ۹۸**




همان گونه که مشاهده می شود تغییرات بسیاری طی ۵ سال در آبخوان دشت صورت گرفته است. بیشینه EC در دشت از ۲۶۷۲ µ mho/cm در سال ۹۳ به ۳۱۷۷ µ mho/cm در سال ۹۸ رسیده است که این حاکی از افزایش ۱۹ درصدی این آلاینده طی این مدت می باشد که خود نشان دهنده بحرانی بودن کیفیت آب زیرزمینی در دشت می باشد. این افزایش می تواند ناشی از برداشت بی رویه آب، کاشت روزافزون کشاورزان و در نتیجه استفاده از کود های شیمیائی بیشتر در دشت باشد. نواحی شمال و شمال غربی دشت میزان EC بیشتری مشاهده می شود که

شکل ۵ تغییرات مکانی آلاینده TH برای سالهای ۹۳ و ۹۸ بعنوان دو سال نمونه را در دشت نشان می دهد.

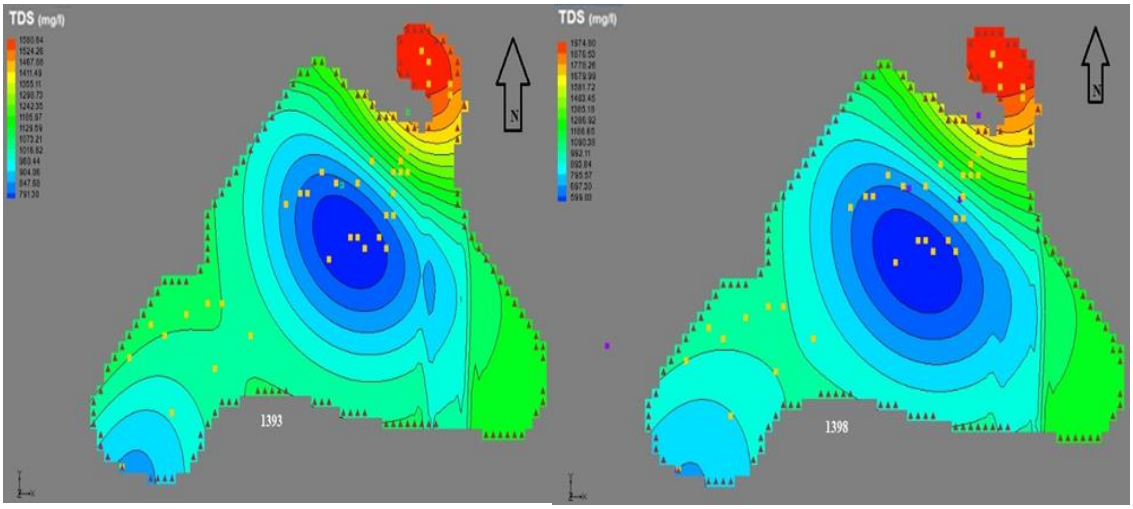
می توان گفت به علت وجود شهر و چاههای های پر برداشت و زمینهای کشاورزی پراکنده در این ناحیه می باشد. این روند هر چه به سمت مرکز دشت حرکت کنیم کاهش می یابد که می تواند به علت افزایش عمق آبخوان و در نتیجه رقیق سازی و کاهش میزان مساحت زمین های کشاورزی باشد. نقاط زرد رنگ روی شکل جانمایی چاه هایی برداشت و زمین های کشاورزی در دشت را نشان می دهد. در نهایت، روند پراکنش مکانی پارامتر کیفی EC طی بقیه سالهای آماری نیز بررسی شد که کلیت این روند، طی همه سال ها یکسان بوده است.




**شکل ۵ پراکنش آلاینده TH در سطح دشت نوبندگان در سالهای ۹۳ و ۹۸**

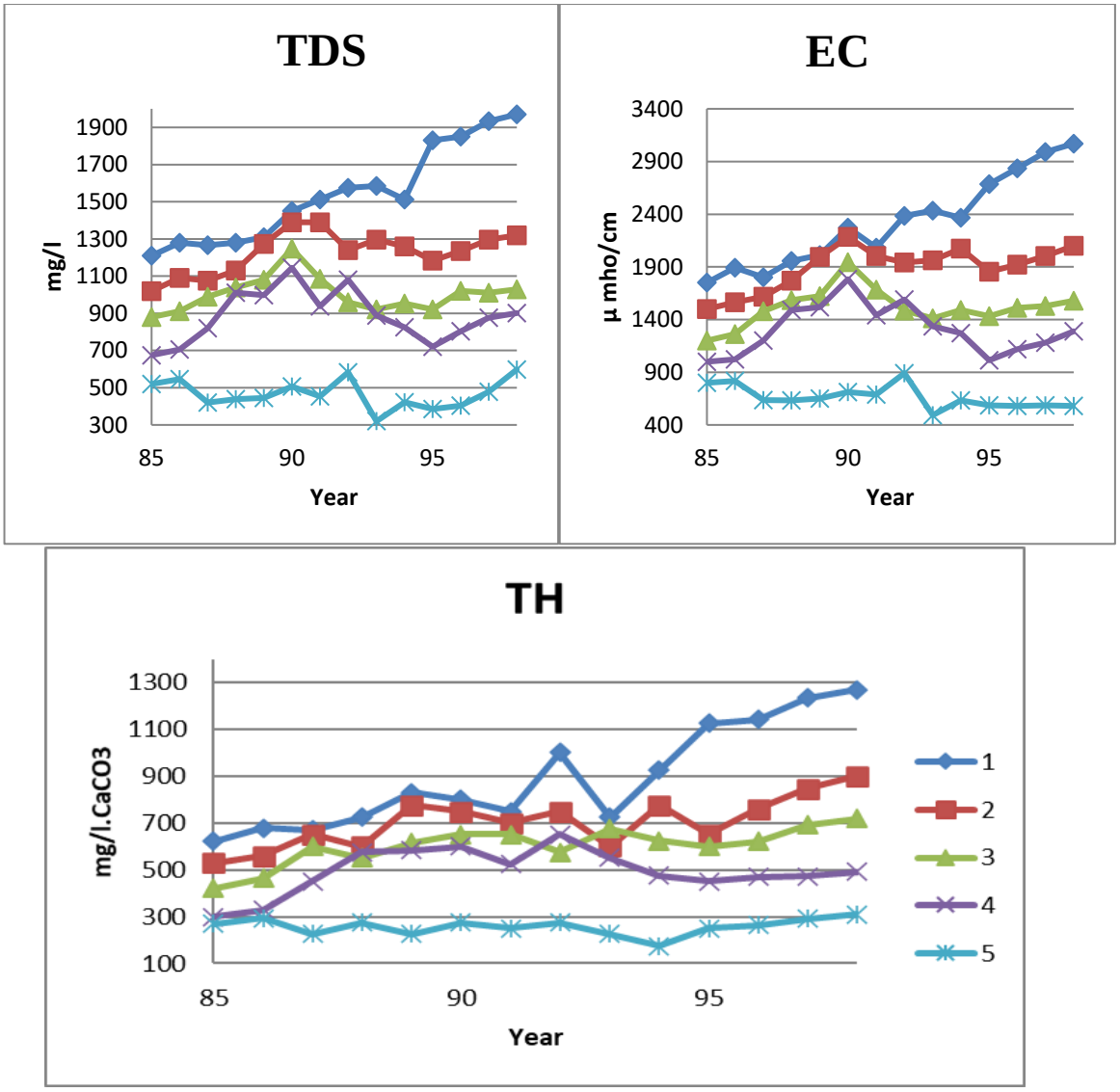
همان گونه که مشاهده می شود تغییرات اندکی در پراکنش TH طی ۵ سال در آبخوان دشت صورت گرفته است. بیشینه TH در دشت از ۱۰۰۱ $mg/l.CaCO_3$ در سال ۹۳ به ۱۲۷۷ $mg/l.CaCO_3$ در سال ۹۸ رسیده است که حاکی از افزایش حدود ۲۷ درصدی این آلاینده طی این مدت می باشد، که خود نشان دهنده بحرانی بودن این آلاینده کیفی نیز در دشت می باشد. مجددا در نواحی شمال و شمال غربی دشت، میزان TH بیشتری مشاهده می شود، که این روند مشابه EC بوده است که می توان گفت به علت وجود شهر و زمین های پر برداشت این ناحیه می باشد. این روند هر چه به سمت مرکز دشت می آید کاهش یافته که به علت افزایش عمق آبخوان در نتیجه رقیق سازی و کاهش زمین های کشاورزی می باشد. نقاط زرد رنگ روی شکل جانمایی چاه هایی برداشت و زمین های کشاورزی در دشت را نشان می دهد. در نهایت روند پراکنش مکانی پارامتر کیفی TH طی بقیه سالهای آماری نیز بررسی شد که کلیت این روند، طی همه سال ها یکسان بوده است. با توجه به نقشه کاربری اراضی در محدوده دشت، به نظر می رسد نواحی جنوب غربی دشت طی سالهای ۹۳ الی ۹۸ فعالیتهای کشاورزی و کاشت محصولات کمتری داشته اند و لذا میزان آلودگی TH نیز در این نواحی کمتر بوده است. طبق گزارش بیلان بارندگی، سال ۹۸ نسبت به سال ۹۳ کاهش ۱۹ درصدی داشته است.

در شکل۶ تغییرات مکانی غلظت TDS در آب زیرزمینی دشت طی سال های ۹۳ و ۹۸ نشان داده شده است.



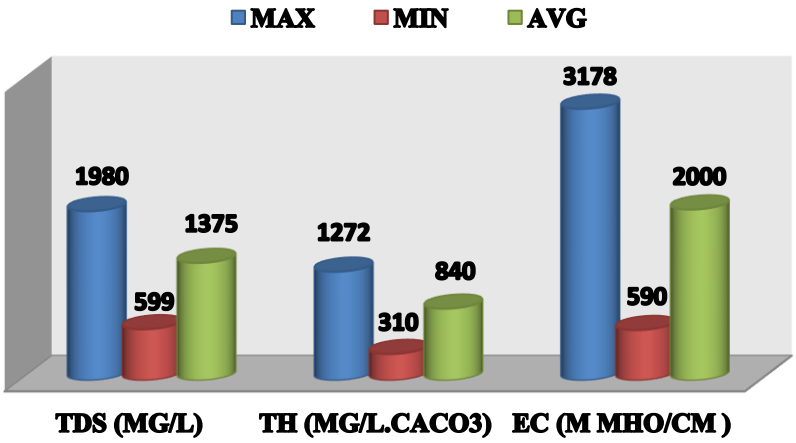

**شکل ۶ پراکنش آلاینده TDS در دشت نوبندگان در سالهای ۹۳ و ۹۸**

همان گونه که مشاهده می شود تغییرات اندکی در پراکنش غلظت TDS طی ۵ سال در آبخوان دشت صورت گرفته است. بیشینه TDS در دشت از ۱۵۸۰ mg/l در سال ۹۳ به ۱۹۷۴ mg/l در سال ۹۸ رسیده است که این حاکی از افزایش حدود ۲۵ درصدی این آلاینده طی این سالها می باشد که خود نشان دهنده بحرانی بودن این آلاینده کیفی نیز در دشت می باشد. مجددا در نواحی شمال و شمال غربی دشت میزان TDS بیشتری مشاهده می شود، که این روند مشابه EC و TH بوده است و می توان گفت به علت وجود شهر و زمین های پر برداشت این ناحیه می باشد. این روند هر چه به سمت مرکز دشت می آید کاهش یافته که بنظر میرسد به علت افزایش عمق آبخوان در نتیجه رقیق سازی و کاهش زمین های کشاورزی می باشد. نقاط زرد رنگ روی شکل جانمایی چاه هایی برداشت و زمین های کشاورزی در دشت را نشان می دهد. در نهایت روند پراکنش مکانی غلظت TDS در آب زیرزمینی دشت طی بقیه سالهای آماری نیز بررسی شد که کلیت این روند، طی همه سال ها یکسان بوده است. در فرو رفتگی ناحیه شمالی دشت، بیشترین آلودگی مشاهده می شود که میتواند حاکی از عدم رقیق سازی به علت عرض کم دره موجود و عمق کم آبخوان در این ناحیه باشد. هماهنگی پراکنش سه آلاینده مورد بررسی در این تحقیق، نشان دهنده صحت روند پراکنش کلی آلودگی کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت می باشد. شکل ۷ تغییرات زمانی غلظت آلاینده های کیفی (EC-TH-TDS) مشاهده شده طی سال های ۸۵ تا ۹۸ برای ۵ پیزومتر موجود در دشت را نشان می دهد. اندازه گیری غلظت آلاینده ها بصورت ماهانه در هر پیزومتر صورت پذیرفته است که برای رعایت اختصار در شکل فوق بصورت متوسط گیری شده در سال نشان داده شده اند. موقعیت مکانی پیزومترها در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.




**شکل ۷ تغییرات غلظت پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در ۱۴ سال گذشته در ۵ چاه مشاهداتی در دشت نوبندگان**

همان طور که مشاهده می شود تغییرات کلی غلظت پارامترهای کیفی طی این سالها تا حد زیادی مانند یکدیگر می باشد و در مجموع همگی یک روند صعودی داشته اند. بنظر میرسد این روند از سال ۹۳ افزایش بیشتری داشته است که می تواند به علت کاهش ۱۹ درصدی بارندگی طی این سالها و همین طور افزایش برداشت آب توسط کشاورزان باشد. پیزومترهای ۱ تا ۵ به ترتیب از شمال به جنوب دشت شماره گذاری شده اند. روند صعودی غلظت آلاینده ها در پیزومتر های شمالی نسبت به جنوبی کاملا مشخص می باشد که منعکس کننده برداشت بیشتر و افزایش کاشت محصولات در این نواحی می باشد که در نزدیکی شهر نوبندگان قرار گرفته اند. شکل ۸ میزان بیشینه، کمینه و میانگین آلاینده های کیفی مورد بررسی در دشت طی ۲۳ سال آماری موجود را نشان می دهد.




**شکل ۸ نمودار بیشینه، کمینه و میانگین آلاینده های کیفی طی دوره آماری**

همان گونه که مشاهده می شود بطور کلی میزان آلاینده های کیفی در دشت بسیار زیاد است و دشت از لحاظ کیفی در حالت بحرانی قرار دارد. لذا بنظر میرسد نیاز هست که از روش های نوین مدیریت منابع آب، برای کنترل این بحران استفاده گردد. با بررسی آمار کیفیت آب در سالهای مختلف در دشت و مقایسه آن با استاندارد ها، کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ شوری در دسته ی لب شور و از لحاظ سختی در دسته بسیار سخت قرار می گیرد. در نهایت با مقایسه و بررسی پراکنش سال های مختلف برای آلاینده های کیفی در دشت می توان گفت روند پراکنش برای تمامی آلاینده ها در دشت طی سال های آماری حدودا یکسان بوده و از نواحی شمال و شمال غرب که بیشینه آنها بوده تا مرکز دشت که کمینه آنها بوده ادامه داشته است. این روند با مسیر جریان دشت نیز مطابقت دارد و می توان گفت منشاء اصلی آلاینده های دشت در نواحی شمال مخصوصا شمال غرب دشت می باشد که شهر نوبندگان و زمین های پر برداشت نیز در این نواحی قرار گرفته اند. پراکنش بیش از حد آلاینده های آب زیرزمینی دشت نشان دهنده عدم مدیریت در نحوه دفع پسماند شهری و فاضلاب مناطق مسکونی بعنوان منشاء های احتمالی آلودگی و همین طور عدم تخصیص صحیح آب به کشاورزان در سطح دشت می باشد.

## نتیجه گیری

شبیه سازی کمی و کیفی جریان آب زیرزمینی در دشت نوبندگان استان فارس با موفقیت انجام شد. در این دشت جریان آب زیرزمینی از نواحی کوهستانی شمالی به سمت نواحی جنوب غربی برقرار است که بیشینه تراز سطح ایستابی حدود ۱۲۸۸ متر و کمینه آن ۱۱۸۴ متر می باشد، که نشاندهنده بیش از ۱۰۰ متر اختلاف هد در سطح ایستابی آبخوان می باشد. در نواحی شمالی دشت و تا حدودی جنوبی دشت، سرعت جریان آب افزایش می یابد که می تواند به دلیل بالا تر بودن ضریب هدایت هیدرولیکی، شیب سطح ایستابی و همچنین کم شدن سطح مقطع عبور آب در این نواحی باشد. طی ۵ سال ۹۳ الی ۹۸ آلاینده های

EC، TH و TDS افزایشی به ترتیب معادل ۱۹، ۲۷ و ۲۵ درصد داشته اند. هماهنگی پراکنش سه آلاینده مورد بررسی در این تحقیق نشان دهنده صحت روند پراکنش کلی آلودگی کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت می باشد که از نواحی شمال و شمال غرب که بیشینه آنها بوده تا مرکز دشت که کمینه آنها بوده ادامه داشته است. منشاء اصلی آلاینده های دشت در نواحی شمال مخصوصا شمال غرب دشت می باشد که شهر نوبندگان و زمین های پر برداشت نیز در این نواحی هستند. بنظر میرسد پراکنش بیش از حد آلاینده های آب زیرزمینی دشت نشان دهنده عدم مدیریت بهینه در نحوه دفع پسماند شهری و فاضلاب مناطق مسکونی بعنوان منشاء های احتمالی آلودگی و همین طور عدم تخصیص صحیح آب به کشاورزان در سطح دشت می باشد.

**منابع**


۱- احمدی، ا. ۱۳۸۰ ، شبیه سازی جریان در آبخوان دشت ایذه با استفاده از مدل ریاضی عددی تفاضلات محدود به منظور اعمال مدیریتی بهینه، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲-اکبرپور، ا. عزیزی، م و شیرازی، م. ۱۳۸۹ "مدیریت بهره برداری از آبهای زیرزمینی دشت مختاران با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود در محیط GMS 6.5،" نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ۸۹، دانشگاه تربیت مدرس.

۳-امیری، و. ۱۳۹۹، بررسی پتانسیل نفوذ شورابه به منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی عددی (مطالعه موردی: آبخوان ساحلی ارومیه). مجله مخاطرات محیط زیست، دوره ۹، ۲۶ (۴) ۱۶۱-۱۸۴

۴-بیات ورکشی، م. فصیحی، ر. زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۷، شبیه سازی عددی مسیر جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت همدان- بهار. سلامت و محیط زیست.; ۱۱ (۱) :۴۹-۶۲

۵-تالاری، ش. ۱۳۸۸،"پایش جریان و آلودگی آبهای زیرزمینی در واحدهای صنعتی و شیمیایی با استفاده از مدل های عددی،" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۶-زنگنه، م. زارع ابیانه، ح. بیات ورکشی، م. کاریاب، ح. ۱۳۹۸. شبیه سازی تغییرات غلظت نیترات در آبخوان دشت قزوین با استفاده از سیستم مدل سازی آب زیرزمینی (GMS). مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی قزوین.; ۲۳ (۳) :۲۵۰-۲۶۰

۷-سالاری، م. ۱۳۸۶، بررسی اثرات احداث سد دودر بر روی آبخوان دشت لادیز و مدیریت آبخوان توسط مدل ریاضی آب های زیرزمینی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۸-عدالت، م. ۱۳۹۱، مدلسازی کمی و کیفی آبهای زیرزمینی دشت شهرضا و ارائه ی الگوی بهینه برای برداشت از چاههای بهره برداری با استفاده از نرم افزار MODFLOW، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز.

۹-عزیزی، ف. اصغری مقدم، ا. ناظمی، ا. ۱۳۹۸، شبیه سازی جریان آب زیرزمینی و نفوذ آب شور در آبخوان دشت ملکان. نشریه علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران سال سیزدهم- شماره ۴۵

۱۰-کلانتری، م. اکبرپور، ا. خطیبی نیا، م. ۱۳۹۶، مدلسازی عددی جریان آب زیرزمینی در آبخوان محصور به روش ایزوژیومتریک، چهاردهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر،کرمان.

۱۱=گزارش تلفیق مطالعات منابع آب، تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات و بیلان آب محدوده مطالعاتی نوبندگان (۲۶۳۲) ، وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت سهامی آب منطقه ای فارس، معاونت مطالعات پایه منابع آب.

۱۲-محسنی، ب. شاهدی، ک. حبیب نژاد روشن، م. درزی نفت چالی، ع. ۱۴۰۰. شبیه سازی کمی منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت بهشهر-بندرگز با استفاده از مدل SWAT. حفاظت منابع آب و خاک.; ۱۰ (۱۱) :۱۲۶-۱۰۹

۱۳-ملازاده، م. عزیزی، م. خسروی، ا. ۱۳۹۷، شبیه سازی جریان آب زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود با استفاده از نرم افزار GMS (مطالعه موردی: دشت قاین)، اولین دوره همایش ملی مدل سازی و فناوری های جدید در مدیریت آب، بیرجند.

۱۴-ملکی، ر. کرمی، غ. دولتی اردهجان، ف. حسینی، ح. اسدیان، ف. ۱۳۹۰، تاثیر خشکسالی سال ۸۶ -۸۷ بر دشت شاهرود با استفاده از مدل GMS 6.0، دومین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران، زنجان.

15.Emace, R, Chodhury, A, Anaya, R, and Way, S. C. (2003), A Numerical Groundwater Flow Model of the Upper and Middle Trinity Aquifer, Hill County Area, Texas Water Development Board, Open _ file Report 00 – 02.

16.Hasan, K, Paul, S, Chy, TJ, Antipova, A. (2021), Analysis of groundwater table variability and trend using ordinary kriging: the case study of Sylhet, Bangladesh. Appl Water Sci 11, 120.

17.Hill, M. C. (2009), "Use of Numerical Model for Management of Shallow Groundwater Levels in the Yuma, Arizona Area", Journal of Groundwater, 34 (3) pp 135-143.

18.Jacques, W. D. (2016), The Handbook of Groundwater Engineering

19.Omar PJ, Gaur S, Dwivedi SB, Dikshit PKS (2020) A modular three-dimensional scenario-based numerical modelling of groundwater flow. Water Res Manag 34:1913–1932

20.Qiang, Sh, Changhong, Y, Peng, Y. (2019), "Simulation evaluation of groundwater resources in southeastern Bosten Lake based on GMS", E3S Web Conf, Volume 79, 03020

21.The U.S. government print edition of The World Fact book (2016–17 edition)

22.Zhong, H, Guangrui, Q, Linxian, H. (2020), "Quantitative Simulation of Groundwater by Mathematical Model in Muzhu River Aquifer using GMS", IOP Conf. Ser, Earth Environ. Sci. 510 042020

# Simulation of Distribution and Source Determination for Groundwater Quality Pollutants (Case Study: Nobandegan Plain)

**syed amir bijan Elhamian[1], gholamreza Rakhshandehroo*[2], Amirhosein Javid[3]**

1- PhD student in the Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2*-Department of Civil & Environmental Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran
3- Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

## Abstract

Due to the population growth and their agricultural needs, access to water is considered a serious crisis. The objective of this paper is to simulate groundwater resources in Nobandegan plain, Fars, as a case study, to obtain the path and intensity of groundwater flow, and to determine the distribution and origin of groundwater quality pollutants using GMS software. First, groundwater flow hydraulics in the plain has been simulated, calibrated and validated. Then, having the intensity and direction of groundwater flow in the plain and its interaction with adjacent aquifers, the distribution of qualitative pollutants has been investigated and simulated. Finally, combining groundwater quality and quantity information, possible origin of pollutants in the plain has been investigated and determined. Maximum values for groundwater hardness and salinity in the plain were 1272 (mg / l.CaCO3) and 3178 (µ mho / cm), respectively, which are relatively high and indicate low groundwater quality in the plain. However, pollutant levels decreased in the central areas of the plain where the aquifer thickness increases and some dilution takes place. Groundwater quality is saline in terms of salinity and very hard in terms of hardness. Investigating land use over the plain shows that the possible origins of groundwater pollution are dense agricultural activities in the northern areas, and location of Nobandegan city and villages there. Pollutants concentration in central plain decreased, apparently due to the lack of any city, village, or agricultural activity, in addition to aquifer thickness increase there.

***Key words: Groundwater simulation, Source of pollution, Quality management, GMS, Fars Nobandegan***