

## مدل سازی آلودگی آبهای زیرزمینی حاصل از شیرابه زباله های جامد شهری با استفاده از کد عددی MODPATH: مطالعه موردی در آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک، خوزستان، ایران

منوچهر چیت سازان

استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

آرش ندردی

استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران

یاسین میزبان

دانش آموخته کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۲

chitsazan\_m@scu.ac.ir

### چکیده

زباله های جامد شهری در اکثر شهرهای ایران بدون پوشش مناسب رها می شوند. تجمع بدون پوشش زباله های جامد باعث ایجاد شورآبه در طی بارندگی می شود که ممکن است به آب های زیرزمینی نفوذ و آن را آلوده کند. نزدیکی محل دفن زباله به آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک و عدم رعایت استانداردهای لازم در انتخاب محل نگرانی های مربوط به نشت از محل دفن زباله به آبخوان را افزایش داده است. این مطالعه با هدف تخمین و پیش بینی سرنوشت آلودگی رخ داده در سایت زباله های جامد شهری اندیمشک، با استفاده از کد های عددی MODFLOW و MODPATH در نرم افزار GMS انجام شده است. برای رسیدن به این هدف: در مرحله اول، مدل عددی جریان آبخوان بوسیله کد MODFLOW تهیه و کالیبره شد. سپس کد MODPATH برای ردیابی ذرات آلوده به روش پیشرو در حالت ماندگار مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله دوم، تاثیر سناریوی افزایش و کاهش پمپاژ از چاه های بهره برداری بر زمان سیر، طول مسیر و ناحیه گیرش ذرات شیرابه منتهی به آنها به روش پیشرو پیش بینی و ارزیابی شده بود. در مرحله سوم، ردیابی ذرات منتهی به چاه های نمونه برداری کیفی در دشت لور به روش پسرو در حالت ماندگار پیش بینی و ارزیابی شده بود. در مرحله چهارم صحت سنجی نتایج بدست آمده از ردیابی ذرات منتهی به چند چاه نمونه برداری کیفی در دشت لور (به روش پسرو در حالت ماندگار) به کمک داده های هیدروشیمی (آنیون نیترات) بدست آمده از این چاه ها ارزیابی شده بود. نتایج بدست آمده نشان داد که زباله دانی اندیمشک پتانسیل آلودگی چاه های بهره برداری مجاورش را در شرایط فعلی و آتی دارد. کاهش پمپاژ از چاه های بهره برداری موجود در آبخوان، به عنوان یک سناریوی مدیریتی تا حدودی خطر آلودگی چاه های مجاور به محل دفن زباله را کاهش می دهد. نتایج حاصله از داده های هیدروشیمی دقت نتایج ردیابی ذرات با مدل MODPATH را تایید کرده است.

**کلمات کلیدی:** مدل سازی آلودگی آبهای زیرزمینی، مدیریت منابع آب زیرزمینی، GMS، MODFLOW، MODPATH

### مقدمه

همواره در معرض انواع مختلف آلودگی قرار دارند، مدیریت و حفاظت از منابع آب زیرزمینی ضروری است.

امروزه مدل های عددی انتقال آلودگی به علت کارایی بالا و هزینه کم می توانند ابزاری مهم برای مدیریت منابع آب زیرزمینی باشند. در سالهای اخیر مدل سازی انتقال آلودگی به منابع آب زیرزمینی مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است (Flugel and Michl., 1995; Rayne et al., 2001; El Yaouti et al., 2008). همکاران، ۱۳۸۹، بانژاد و همکاران، ۱۳۹۲، علیجانی و همکاران، ۱۳۹۲).

مکان دفع پسماند اندیمشک به دلیل طراحی نامناسب و براساس یک تصمیم گیری اشتباه در بخش شمال شرقی آبخوان دشت لور قرار گرفته است. با توجه به نفوذپذیری زیاد گراول کف مکان دفع پسماند، امکان نشت و نفوذ شیرابه های حاصل از زباله ها به درون آبخوان وجود دارد. با توجه به این که تأمین بخش

مکان های دفع پسماند معمولاً مخلوطی از زباله های شهری، تجاری و صنعتی هستند که به طور عمده دامنه وسیعی از ترکیبات آلاینده را وارد محیط و بویژه آب های زیرزمینی می نمایند که می توانند اثرات مخرب و جبران ناپذیری بر سلامت انسان ها بگذارند. نمونه های زیادی از محل های دفع پسماند که باعث آلودگی آب زیرزمینی شده اند در سرتاسر جهان گزارش شده است (Saarela, 2003; Chofqi et al., 2004; Han et al., 2014; El-Salam and Abu-Zuid., 2015). آلاینده های مختلفی همچون فلزات سنگین (مانند کادمیم، مس، آرسنیک، سرب، کرومات)، آمونیوم، نیترات و باکتری ها می توانند از طریق شیرابه پسماند های کنترل نشده به آب زیرزمینی نفوذ نمایند (Lee et al., 2006). پسماند ها به عنوان یکی از تهدیدات بزرگ برای منابع آب زیرزمینی شناخته شده هستند (fatta et al., 1999). به دلیل این که منابع آب زیرزمینی

عمده‌ای از آب کشاورزی و آشامیدنی دشت لور اندیمشک از منابع آب زیرزمینی آبخوان آزاد آن می‌باشد. بنابراین بررسی کمی و کیفی این آبخوان از اهمیت خاصی برخوردار است. در این راستا انتقال آلودگی ناشی از محل دفن زباله اندیمشک به آب زیرزمینی دشت لور اندیمشک با استفاده از کدهای MODFLOW و MODPATH موجود در نرم‌افزار GMS مورد بررسی قرار گرفته و زمان سیر و مسیر حرکت آلودگی در سال های آتی و تاثیر سناریوهای مدیریتی بر کنترل گسترش آلودگی پیش بینی شده است.

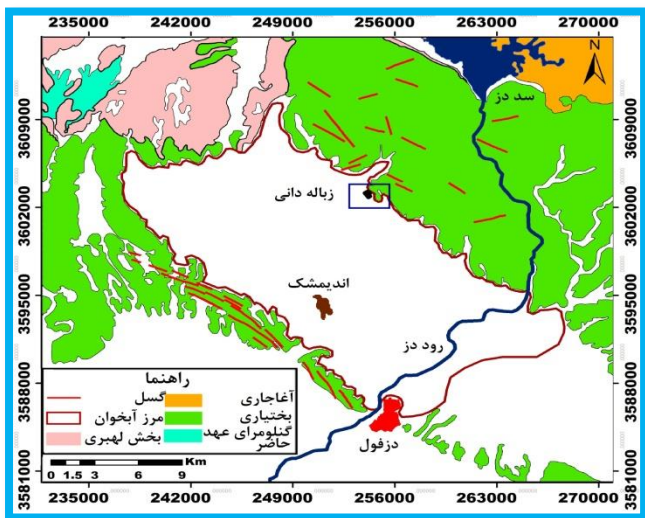
کد MODFLOW جریان آب زیرزمینی در آبخوان را به صورت سه بعدی و به روش تفاضل محدود شبیه سازی می‌کند. کد MODPATH یک برنامه پس پردازشگر ردیابی ذرات است که توسط سازمان زمین شناسی آمریکا ارائه شده است. کار اصلی MODPATH، ردگیری سه بعدی حرکت ذرات توسط فرآیند فرارفت (حرکت جرمی) به روش تفاضل محدود است. محاسبه مسیرهای حرکت ذرات از یک سلول به سلول دیگر با استفاده از روش ردیابی ذرات ادامه می‌یابد تا اینکه ذرات به یک مرز یا مکان تغذیه و تغلیب موجود در مسیر خود برسند (Pollock.,1994).

### مواد و روش ها

#### توصیف منطقه مورد مطالعه

#### زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

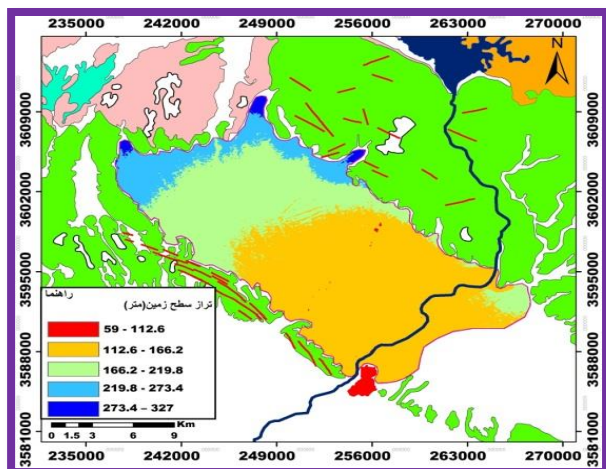
محدوده مطالعاتی دشت لور اندیمشک با مساحتی حدود ۳۲۵ کیلومتر مربع، در حوضه آبریز رود دز است که از شمال و شمال غرب و غرب به ارتفاعات حاشیه دشت (سازند بختیاری و بخش لهری)، از شرق به دشت سیلی سربیشه و از جنوب و جنوب غرب به بالآمدگی دزفول محدود می‌شود. این دشت در شمال استان خوزستان، شمال شهرستان اندیمشک بین عرض جغرافیایی ۲۲' ۳۲° تا ۳۶' ۳۲° شمالی و طول جغرافیایی ۱۲' ۴۸° تا ۳۱' ۴۸° شرقی واقع شده است. در محدوده مورد مطالعه مکان دفع پسماند اندیمشک به مساحت تقریبی ۱ هکتار در شمال شرق منطقه مطالعاتی قرار دارد. میزان تولید روزانه زباله شهر اندیمشک ۱۰۰ الی ۱۲۰ تن می باشد. محدوده مطالعاتی دشت لور اندیمشک از لحاظ زمین شناسی ناحیه‌ای بر اساس تقسیم بندی (Stocklin.,1968) در ناحیه دشت خوزستان و بر پایه تقسیم بندی (Berberian.,1995) در ناحیه زاگرس چین خورده قرار گرفته است. محدوده مطالعاتی دشت لور اندیمشک نهشته‌های تشریری و کوآترنری را شامل می‌شود. درگستره‌ی منطقه مورد مطالعه اثری از تنوع چینه‌شناسی به چشم نمی‌خورد. عمده وسعت منطقه توسط سازند بختیاری پوشیده شده و مابقی مساحت محدوده توسط رسوبات عمدتاً آبرفتی و جوان کوآترنری و قسمت‌های محدودی نیز توسط بخش لهری و سازند آغاچاری پوشیده شده است. از نظر قدمت مسن‌ترین نهشته‌ها سازند آغاچاری، بخش لهری و سازند بختیاری و جوان‌ترین رسوبات نیز مجموعه رسوبی جوان کوآترنری است. سازند بختیاری بیشترین رخنمون را در محدوده دارد، و به دلیل نفوذپذیری و تخلخل کافی، مهمترین سازند منطقه به لحاظ تشکیل لایه‌های آبدار و تغذیه آبخوان دشت می‌باشد. از طرفی آبرفت دشت لور اندیمشک بیشتر شامل مواد دانه درشت و قلوهای است که در قسمت‌های شرقی به تدریج رسوبات دانه‌ریزتر می‌شوند. علاوه بر فروافتادگی دزفول در قسمت جنوبی منطقه چندین گسل کوچک (با زاویه تند) در سازند بختیاری که منطقه مورد مطالعه را محصور می‌کند، وجود دارند (شکل ۱).



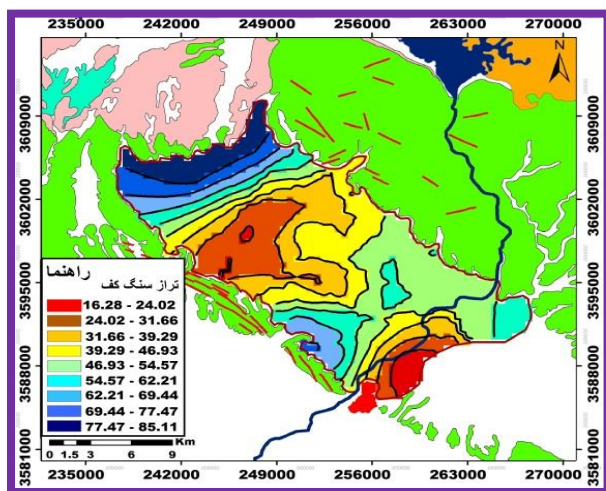
شکل ۱. نقشه زمین شناسی محدوده‌ی مورد مطالعه.

#### هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه

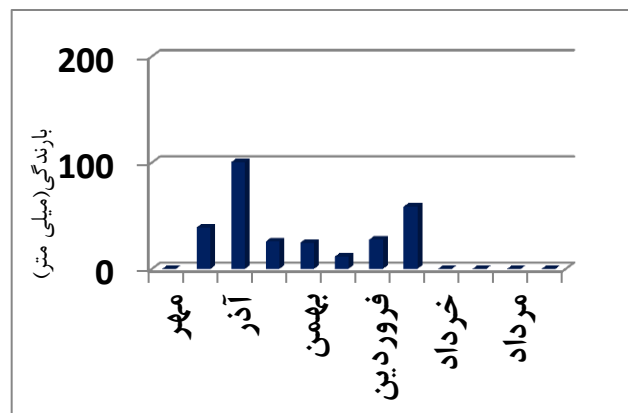
بارش مهمترین پارامتری است که به طور مستقیم در چرخه هیدرولوژیکی دخالت دارد. در محدوده مورد مطالعه ایستگاه‌های باران‌سنج مختلفی وجود دارد که از اطلاعات بارش ثبت شده در نزدیکترین ایستگاه مجاور، واقع در سد تنظیمی دزفول در فواصل سال ۱۳۸۸ - ۱۳۸۹ برای انجام محاسبات مربوط به تغذیه آبهای زیرزمینی از طریق بارش استفاده شده است (شکل ۲). مقدار کل بارش در سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۸۹، ۲۸۷،۱ میلی‌متر گزارش شده است. نمودار رسم شده برای دوره آماری ۱۳۸۸ تا ۱۳۸۹ نشان می‌دهد که بیشترین بارش در ماه‌های آبان تا اردیبهشت و کمترین آن در ماه‌های خرداد تا مهر رخ می‌دهد. از منابع سطحی قابل توجه در منطقه مورد مطالعه می‌توان رودخانه دائمی دز را نام برد که از شرق منطقه عبور می‌کند. با توجه به آمار و اطلاعات دریافت شده از ایستگاه هیدرومتری حرمله (از نوع درجه یک و دارای اشل، لیمنوگراف و پل تلفریک) در دوره آماری ۵۰ سال اخیر (۱۳۴۴ - ۱۳۹۲)، رودخانه دز دارای میانگین آبدهی ۲۲۶،۵۹ متر مکعب بر ثانیه بوده است (شکل ۳). براساس نمودار شکل ۳، در بازه ۵۰ سال اخیر، دوره‌های پرآبی و کم آبی رود دز به طور متناوب تکرار شده است و رود دز در سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳، شدیدترین دوره‌ی کم آبی خود را تجربه کرده است. علت این امر کاهش بارندگی در طی سال‌های مورد نظر است.



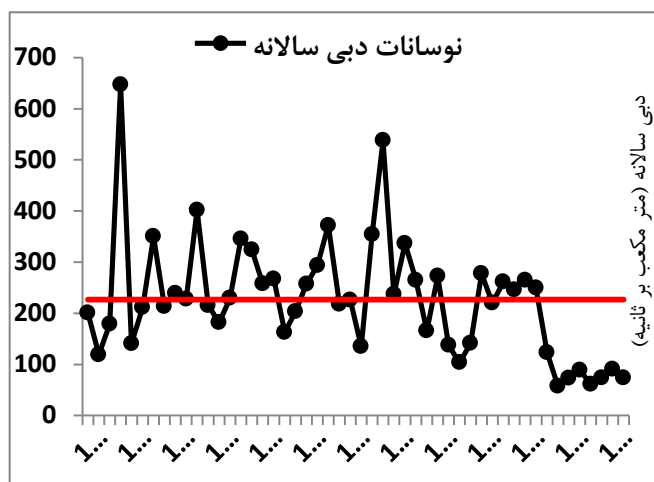
شکل ۴. توپوگرافی سطحی آبخوان.



شکل ۵. توپوگرافی سنگ کف آبخوان.



شکل ۲. نمودار بارش ماهیانه سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۹.

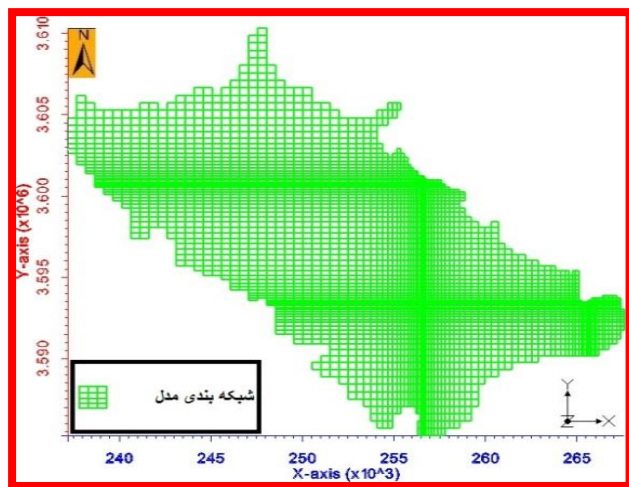


شکل ۳. نوسانات و متوسط دبی سالانه رودخانه دز دوره آماری ۱۳۴۴-۱۳۹۲.

### هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

شیب عمومی آبخوان آزاد دشت لوراندیمشک، از شمال، شمال غرب و جنوب غرب به طرف شرق و جنوب شرق آن است (شکل ۴). سنگ کف آبخوان با توجه به مقاطع ژئوالکتریک و لاگ چاه‌های بهره برداری عمیق عمدتاً سازند بختیاری اما در بعضی مکان‌ها لهبری نیز مشاهده شده است. عمق سنگ کف آبخوان از شمال غرب، غرب و جنوب غرب به سمت مرکز، جنوب شرق و شرق آن کاهش یافته است (شکل ۵). بالاترین تراز سطح ایستابی در آبخوان مورد مطالعه، مربوط به بخش‌های شمال شرق و نزدیک رودخانه دز و کمترین تراز سطح ایستابی مربوط به بخش‌های جنوبی آن است (شکل ۶). با بررسی نقشه‌های جهت جریان آبخوان مورد مطالعه مشخص شد که مرزهای شمالی و غربی موجب تغذیه و مرزهای جنوبی موجب تخلیه آبخوان می‌شوند (شکل ۷).

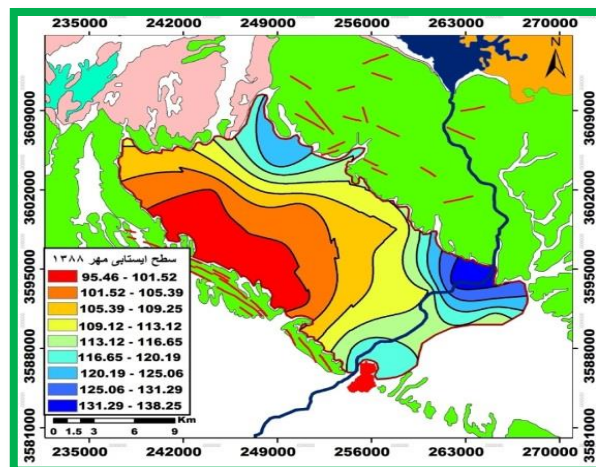
به منظور بهبود دقت شبیه سازی عددی جریان آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک از روش ریزسازی "Point Grid Refinement" استفاده شد. ریزسازی شبکه اولیه مدل عددی جریان آبخوان به ترتیب اهمیت در مناطق مجاور رودخانه دز و محل دفع پسماند اندیمشک صورت گرفته است. آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک با توجه به مطالعات انجام شده و داده های موجود، یک لایه ای تشخیص داده شده است و محدوده آن به ۹۶ ستون و ۸۷ ردیف از نوع مرکز شبکه ای با فاصله ردیفی و ستونی نابرابر تقسیم شد که ایجاد ۸۳۵۲ سلول (شامل ۴۰۴۳ سلول فعال و ۴۳۰۹ سلول غیر فعال) را می نماید (شکل ۸).



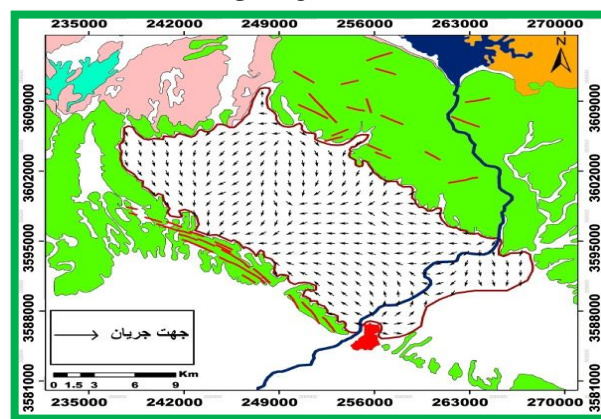
شکل ۸. شبکه بندی مدل آبخوان.

### شرایط مرزی مدل

مرز مدل، فصل مشترک بین ناحیه مدل و محیط اطراف آن است. با توجه به خطوط تراز پیزومترها و نیز نقشه های جهت جریان، مرزهای جنوب غرب، جنوب شرق و شمال شرق، مرز فاقد جریان یا نفوذناپذیر در نظر گرفته شد. تنها بخش کوچکی در قسمت شمال غرب منطقه، مرز با بار هیدرولیکی معین تشخیص داده شد و در نهایت برای قسمت های عمده منطقه (شمال، غرب، شرق و جنوب) مرز با بار هیدرولیکی عمومی (GHB) در نظر گرفته شده است. میانگین رسانایی (Conductance) مرز GHB بعد از واسنجی ۴۹۲،۷۳ متر مربع بر روز بدست آمده است (شکل ۹).



شکل ۶. تراز سطح ایستابی آبخوان.



شکل ۷. جهت جریان آبخوان.

### مدل عددی جریان آب زیرزمینی با استفاده از کد MODFLOW مدل مفهومی (Conceptual Model)

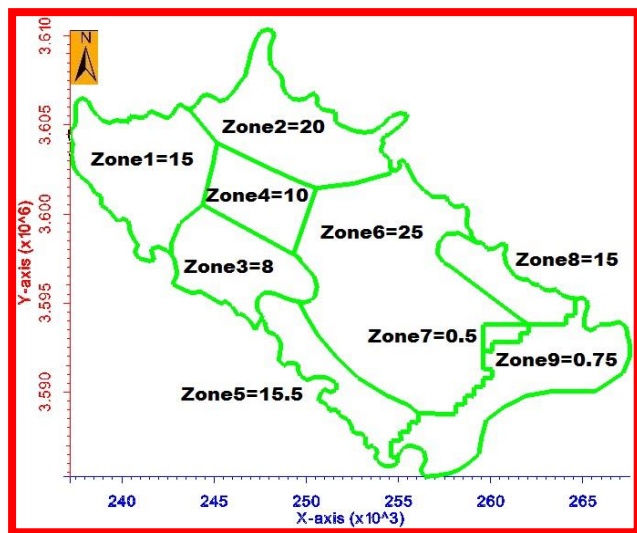
هدف از تهیه مدل مفهومی ساده کردن مسئله میدانی (صحرایی) و سازمان دهی داده های مربوط به آن است تا بتوان سیستم را به آسانی تفسیر کرد (Anderson and Woessner., 1997). تعیین مرزهای مدل، تعیین نوع و ویژگی های واحدهای هیدرواستراتیگرافی، شناخت ویژگی های جریان، تعیین منابع و مقادیر تغذیه و تخلیه و تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان از جمله موضوعاتی هستند که در تهیه مدل مفهومی مورد توجه قرار می گیرند. مدل مفهومی در این مطالعه جهت ورود اطلاعات به مدل هیدروژئولوژیکی در چند پوشش (Coverage) مجزا به نام های Boundary wells, Observation wells, Pumping Wells, River, Horizontal k, Recharge به نرم افزار مدل ساز (GMS) معرفی شده است.

گسسته سازی مکانی مدل

مینیمم تراز بستر آن ۱۳۷،۴۱ (در محل ورود رود دز به آبخوان) و ۱۱۸،۳۳ متر (در محل خروج رود دز از آبخوان) می باشد. میانگین رسانایی (Conductance) رودخانه دز بعد از واسنجی ۱۱۰،۳۰ متر مربع بر روز بر متر تعیین گردید.

### هدایت هیدرولیکی افقی آبخوان مورد مطالعه

برای مشخص کردن پارامتر هدایت هیدرولیکی افقی آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک در مدل، از روش پهنه بندی استفاده شد. بر این اساس با توجه به اطلاعات موجود، مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی براساس آزمون پمپاژ پله‌ای، خطوط جریان، گرادیان هیدرولیکی به پهنه بندی‌های اولیه اختصاص داده شد و در نهایت طی واسنجی، هدایت هیدرولیکی به ۹ پهنه (Zone) با مقادیر حداقل ۰/۵ تا حداکثر ۲۵ متر بر روز تقسیم‌بندی شد (شکل ۱۰).



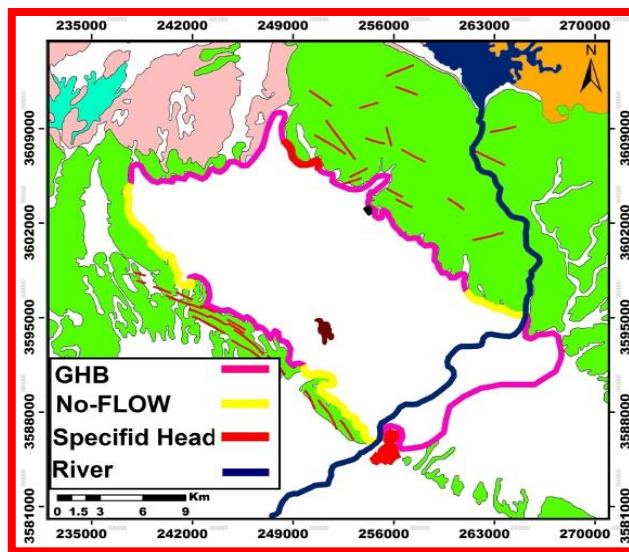
شکل ۱۰. پهنه بندی و مقادیر نهایی هدایت هیدرولیکی افقی آبخوان.

### تغذیه آبخوان

تغذیه ناشی از مرزها، تغذیه ناشی از ریزش‌های جوی، تغذیه ناشی از نفوذ آب رودخانه و تغذیه ناشی از آب برگشتی چاه‌ها از مهمترین منابع تغذیه کننده آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک به شمار می‌روند که در قالب کدهای مختلفی به نرم افزار مدل‌ساز (GMS) معرفی شدند.

### واسنجی (Calibration) مدل

فرآیند تغییر در بعضی پارامترهای مدل (پارامترهای همراه با عدم قطعیت) در یک دامنه مورد قبول تا زمانی که اختلاف بین مقادیر بار هیدرولیکی و جریان شبیه‌سازی شده (توسط مدل) و مشاهده‌ای به یک حد قابل قبول برسد، واسنجی مدل آب‌بازرزمینی نامیده می‌شود (نظری و جودوی، ۱۳۹۳). هدف از واسنجی به حداقل رساندن خطا یا معیار واسنجی است. واسنجی مدل برای تمامی پیژومترها با معیار اختلاف سطح آب محاسبه ای و مشاهده ای به میزان یک متر صورت گرفته است. مدل آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک در یک دوره‌ی زمانی یک ماهه (مهر ۱۳۸۸) در حالت ماندگار واسنجی شد. در این تحقیق از روش سعی و خطا (دستی) جهت واسنجی پارامترها شامل هدایت هیدرولیکی (K)، رسانایی



شکل ۹. شرایط مرزی آبخوان.

### چاه‌های پیژومتری و بهره‌برداری موجود در آبخوان مورد مطالعه

تعداد ۱۳ حلقه چاه پیژومتری در آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک وجود دارد. برای بررسی صحت نتایج شبیه‌سازی و همچنین محاسبه معیارهای آماری خطا در نتایج مدل، موقعیت و مقادیر تراز آب مشاهده شده پیژومترهای موجود در محدوده آبخوان مورد مطالعه در قالب کدهای مشاهده ای (Observation Wells) به نرم افزار مدل‌ساز (GMS) معرفی شده است. همچنین تعداد ۴۶۴ حلقه چاه بهره‌برداری در آبخوان مورد مطالعه موجود است که بیشتر آنها چاه‌های بهره‌برداری عمیق هستند و تعداد چاه‌های کم عمق بسیار اندک است. چاه‌های بهره‌برداری در تمام بخش‌های آبخوان مورد مطالعه حفر گردیده اند ولی بیشترین تمرکز آنها در قسمت مرکز آن است. موقعیت و مقادیر دبی برداشت شده برای چاه‌های موجود در محدوده آبخوان مورد مطالعه در قالب کدهای پمپاژ (Pumping Wells) به نرم افزار مدل‌ساز (GMS) معرفی شده است.

### رودخانه منطقه مورد مطالعه

در منطقه مطالعاتی دشت لور یک رودخانه دائمی به نام رودخانه دز وجود دارد که از شرق منطقه عبور می‌کند. کد رودخانه، جریان بین آبخوان و منابع آب سطحی، نظیر رودخانه یا دریاچه را شبیه‌سازی می‌کند. این بسته جهت شبیه‌سازی رودخانه از داده‌های تراز سطح آب رودخانه، تراز بستر و رسانایی هیدرولیکی (Conductance) رسوبات بستر رود استفاده می‌کند. در طول بستر رودخانه دز ماکزیمم و مینیمم تراز سطح آب آن در مهر ماه ۱۳۸۸ با توجه به ایستگاه‌های هیدرومتری و مقاطع تهیه شده به ترتیب ۱۳۸،۳۸ (در محل ورود رود دز به آبخوان) و ۱۱۹،۷۶ متر (در محل خروج رود دز از آبخوان) و ماکزیمم و

### بیان آبی مدل در حالت ماندگار

یکی از کاربردی‌ترین اهداف مدل‌سازی آبخوان، تهیه بیان آبی و شناخت دقیق‌تر مؤلفه‌های مختلف بیان و محاسبه آن‌ها برای یک دوره مشخص می‌باشد. بیان آبی آبخوان شبیه‌سازی شده برای حالت ماندگار در جدول ۱ ارائه شده است. بیان آبی بر حسب متر مکعب بر روز و ورودی آبخوان با علامت مثبت و خروجی از آبخوان با علامت منفی بیان شده است. مجموع ورودی‌ها با خروجی‌ها تقریباً برابر که این مطابق با شرایط مدل‌سازی در حالت ماندگار است.

جدول ۱. بیان آبی مدل در حالت ماندگار (مهر ۱۳۸۸).

اجزاء بیان	ورودی (m <sup>3</sup> /day)	خروجی (m <sup>3</sup> /day)
بار ثابت	۱۶۹۰۵٫۹۴	۰
چاه	۰	-۲۰۱۲۳۵٫۱
رودخانه	۶۴۹۷۸٫۹۲	-۲۵۳٫۷۱
بار هیدرولیکی عمومی	۵۵۳۱۰٫۲۷	-۳۱۰۹٫۴۳
تغذیه	۶۷۴۰۳٫۱۵	۰
مجموع	۲۰۴۵۹۸٫۲۸	-۲۰۴۵۹۸٫۲۴

### بحث و نتیجه‌گیری

#### شبیه‌سازی انتقال آلودگی با استفاده از کد MODPATH

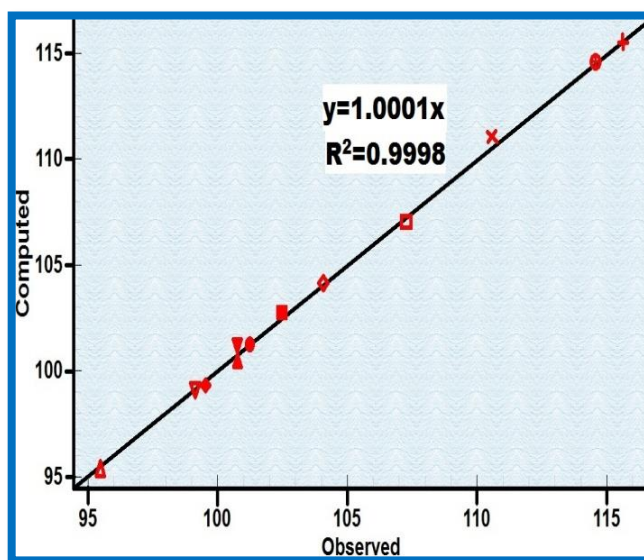
مدل MODPATH، به تراز محاسبه شده آب‌زیرزمینی و تخلخل آبخوان نیاز دارد. تراز آب محاسبه‌ای توسط مدل MODFLOW در حالت ماندگار محاسبه شده است. با استفاده از مدل MODPATH مسیر حرکت ذرات، طول مسیر و زمان حرکت و ناحیه گیرش آن‌ها محاسبه و مشخص می‌شود. تعیین مسیر حرکت ذرات در طول زمان به دو روش پیشرو (Forward) و پسرو (Backward) انجام می‌گردد (Pollock., 1994). به‌طور کلی می‌توان گفت در روش پیشرو، مبدأ شروع حرکت ذرات، سلول یا سلول‌های انتخاب شده است و در روش پسرو سلول یا سلول‌های انتخاب شده به‌عنوان مقصد ذرات انتخاب می‌شوند.

#### شبیه‌سازی حرکت ذرات شیرابه از محل دفن زباله به درون آبخوان

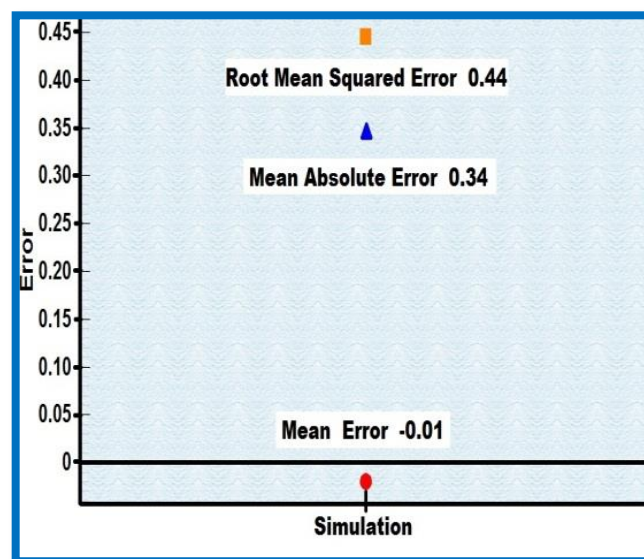
##### به روش پیشرو در حالت ماندگار

با در نظر گرفتن تعداد ذرات (۲۰ عدد)، مکان توزیع (روی سطح ایستابی)، میزان تخلخل (۰٫۲۵)، مبدأ (تعریف شده به وسیله کاربر (محل دفن زباله)) و مقصد (محاسبه شده به وسیله مدل) برای هر سلول مورد نظر، ردیابی ذرات با استفاده از مدل MODPATH، در حالت ماندگار (مهرماه ۱۳۸۸) به روش پیشرو انجام شده و نتایج در (شکل ۱۳) و (جدول ۲) ارائه شده است.

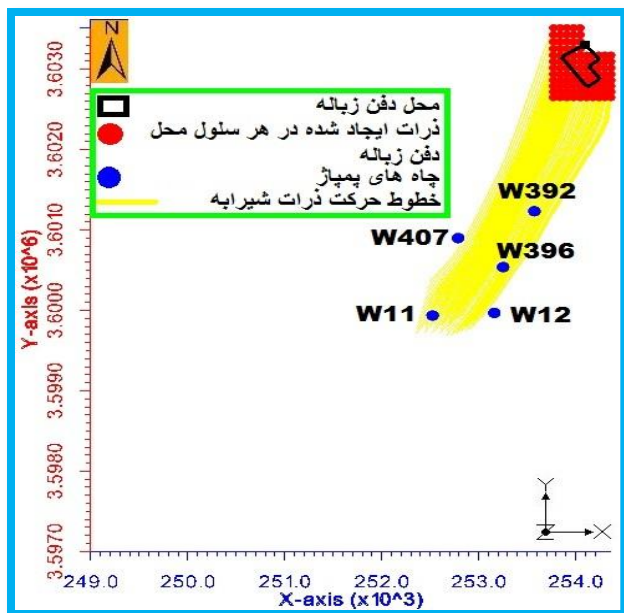
رودخانه و GHB استفاده شده است. در (شکل‌های ۱۱ تا ۱۲) نمودار پراکنش سطوح آب محاسبه و مشاهده شده و انواع خطاهای شبیه‌سازی حاصل از این واسنجی نشان داده شده است. جذر میانگین مربع خطا (Root Mean Squared Error) واسنجی برابر ۰٫۴۴/ و ضریب تعیین برابر  $R^2=0.9998$  بدست آمده نشان دهنده یک واسنجی عالی برای مدل تهیه شده در حالت ماندگار است.



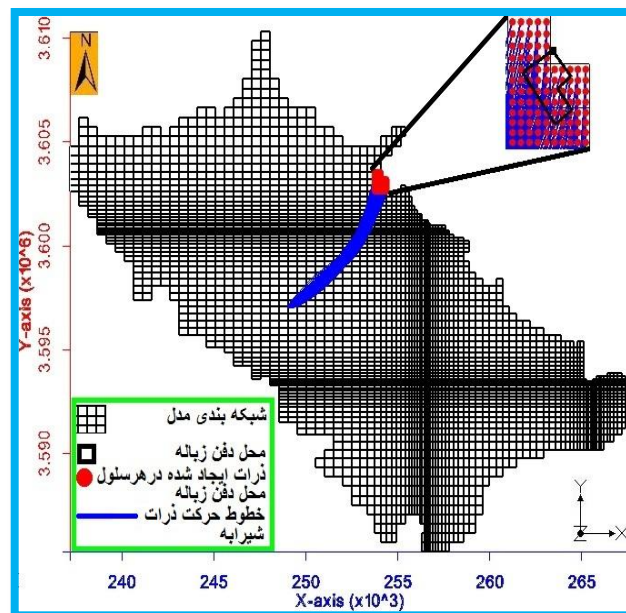
شکل ۱۱. نمودار پراکنش سطح آب مشاهده شده در مقابل محاسبه شده در مدل‌سازی آبخوان بعد از پایان دوره واسنجی.



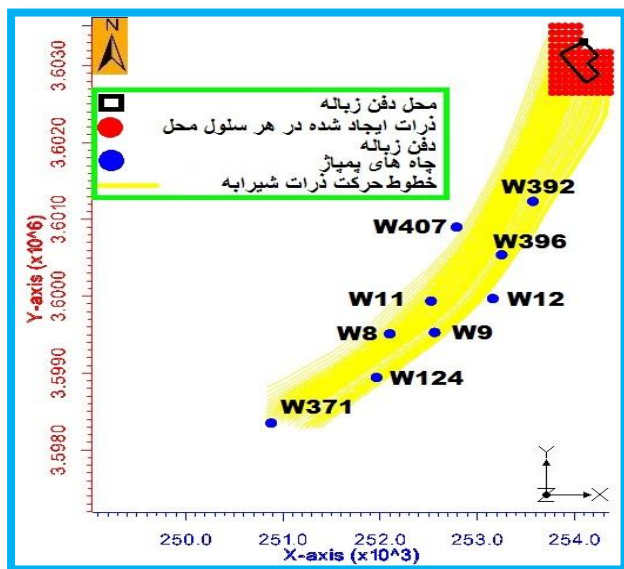
شکل ۱۲. خطاهای مدل‌سازی آبخوان بعد از پایان دوره واسنجی.



شکل ۱۴. شبیه سازی حرکت ذرات شیرابه از محل دفن زباله به سمت چاه های پمپاژ موجود در آبخوان به روش پیشرو در طول ۵۰ سال ردیابی.



شکل ۱۳. شبیه سازی حرکت ذرات شیرابه از محل دفن زباله به درون آبخوان به روش پیشرو.



شکل ۱۵. شبیه سازی حرکت ذرات شیرابه از محل دفن زباله به سمت چاه های پمپاژ موجود در آبخوان به روش پیشرو در طول ۱۰۰ سال ردیابی.

جدول ۲. کمینه، متوسط و بیشینه زمان، طول مسیر و مساحت ناحیه گیرش حرکت ذرات شیرابه از محل دفن زباله به درون آبخوان به روش پیشرو.

طول مسیر حرکت ذرات شیرابه (متر)			زمان حرکت ذرات شیرابه (سال)		
بیشینه	متوسط	کمینه	بیشینه	متوسط	کمینه
۸۶۲۴	۸۰۹۵	۷۵۴۷	۲۲۳	۱۹۶	۱۸۴
۵۷۴۶۴۴۳٫۳۷			مساحت ناحیه گیرش ذرات شیرابه (مترمربع)		

با بررسی (شکل ۱۳) و (جدول ۲) نتیجه گیری می شود که حرکت ذرات شیرابه از محل دفن زباله به سمت آبخوان به روش پیشرو در حالت ماندگار ادامه داشته تا این که ذرات با طی مسیری به طول متوسط ۸۰۹۵٫۰۲ متر در متوسط زمان ۱۹۵٫۹۹ سال به یک مکان تخلیه ای (چاه پمپاژ به نام W288) در جنوب آبخوان رسیده و در آن متوقف شده اند.

در ادامه برای اینکه بهتر مشخص شود که ذرات شیرابه ناشی از محل دفن زباله کدام یک از چاه های پمپاژ موجود در آبخوان را آلوده می کنند، شبیه سازی حرکت ذرات شیرابه از محل دفن زباله به سمت چاه های پمپاژ آبخوان در حالت ماندگار به روش پیشرو (مهر ۱۳۸۸) برای بازه های زمانی با ضرب ۵۰ ساله در طول ۲۰۰ سال انجام شد. نتایج به صورت شکل های (۱۴ تا ۱۷) و جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳. زمان حرکت ذرات شیرابه از محل دفن زباله به درون چاه‌های پمپاژ موجود در آبخوان.

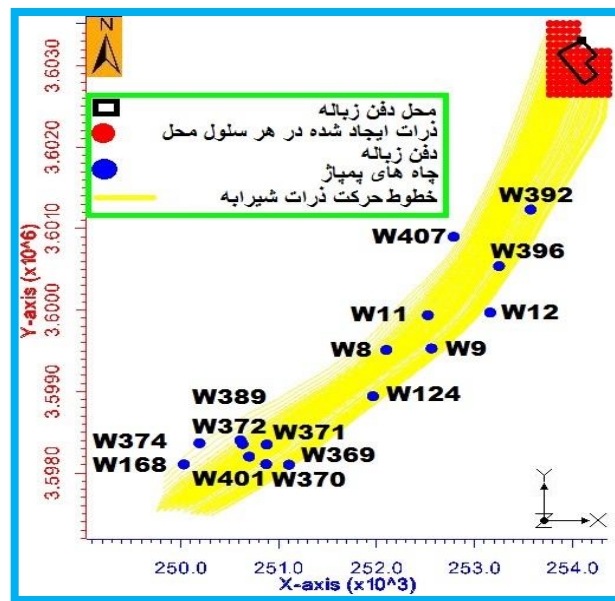
چاه های پمپاژ آلوده شده	زمان حرکت ذرات شیرابه (سال)
W11, 12, 392, 396, 407	۵۰ سال
W8, 9, 11, 12, 124, 371, 392, 396, 407	۱۰۰ سال
W8, 9, 11, 12, 124, 168, 369, 370, 371, 372, 374, 389, 392, 396, 401, 407	۱۵۰ سال
W8, 9, 11, 12, 124, 168, 287, 369, 370, 371, 372, 374, 389, 392, 396, 401, 407	۲۰۰ سال

با بررسی (شکل های ۱۴ تا ۱۷) و (جدول ۳) نتیجه‌گیری می‌شود که ردیابی حرکت ذرات از محل دفن زباله به درون آبخوان برای بازه زمانی ۲۰۰ ساله به روش پیشرو در حالت ماندگار (مهرماه ۱۳۸۸) انجام شده است. ذرات با طی مسیری به طول متوسط  $8095.02$  متر به چاه‌های W8, 9, 11, 12, 124, 168, 287, 369, 370, 371, 372, 374, 389, 392, 396, 401, 407 رسیده و این چاه‌ها را آلوده کرده است.

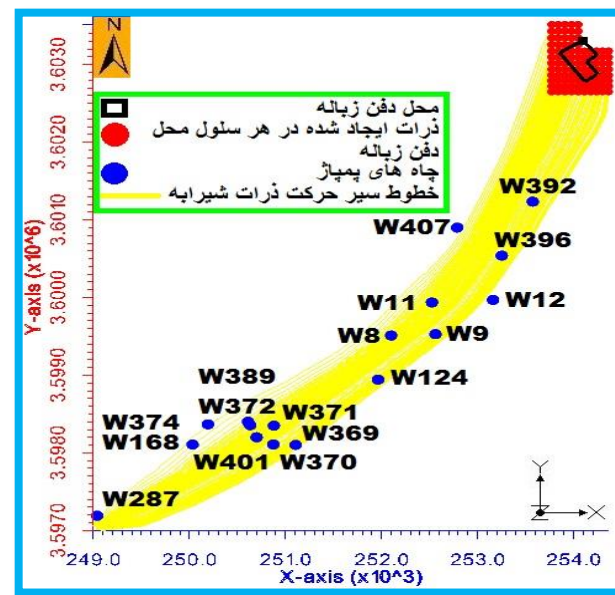
### بررسی تاثیر تغییرات پمپاژ بر زمان و طول مسیر حرکت ذرات شیرابه

#### تاثیرسناریوی ۱۰ درصد افزایش پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری در حالت ماندگار به روش پسرو

به منظور انجام این سناریو، و ارزیابی افزایش ۱۰ درصدی پمپاژ از چاه‌ها بر زمان و طول مسیر حرکت ذرات شیرابه منتفی به آن‌ها، دبی خروجی از هر چاه به میزان ۱۰ درصد افزایش یافت و مقدار جدید پمپاژ چاه‌ها وارد بسته چاه در نرم‌افزار GMS شد و مدل اجرا گردید. در این قسمت نتایج حاصل از بررسی جزئی تر چند چاه (W12, W392, W407) به عنوان نمونه آورده شده است (شکل ۱۸ تا ۱۹) و (جدول ۴ تا ۵).



شکل ۱۶. شبیه‌سازی حرکت ذرات شیرابه از محل دفن زباله به سمت چاه‌های پمپاژ موجود به روش پیشرو در آبخوان در طول ۱۵۰ سال ردیابی.



شکل ۱۷. شبیه‌سازی حرکت ذرات شیرابه از محل دفن زباله به سمت چاه‌های پمپاژ موجود در آبخوان به روش پیشرو در طول ۲۰۰ سال ردیابی.



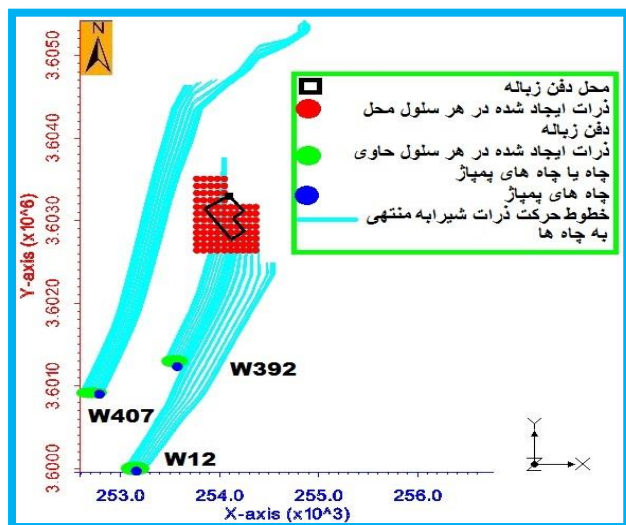
جدول ۵. متوسط زمان و طول مسیر حرکت ذرات منتهی به ۳ نمونه چاه پمپاژ موجود در آبخوان به روش پسر و با اعمال ۱۰ درصد افزایش پمپاژ.

طول مسیر حرکت ذرات شیرابه (متر)	زمان حرکت ذرات شیرابه (سال)	
	متوسط	چاه های پمپاژ
متوسط	متوسط	W12
۲۸۹۱,۹۹	۳۷,۶۹	
۱۶۷۰,۰۷	۲۱,۳۲	W392
۳۳۸۵,۹۸	۴۶,۵۵	W407

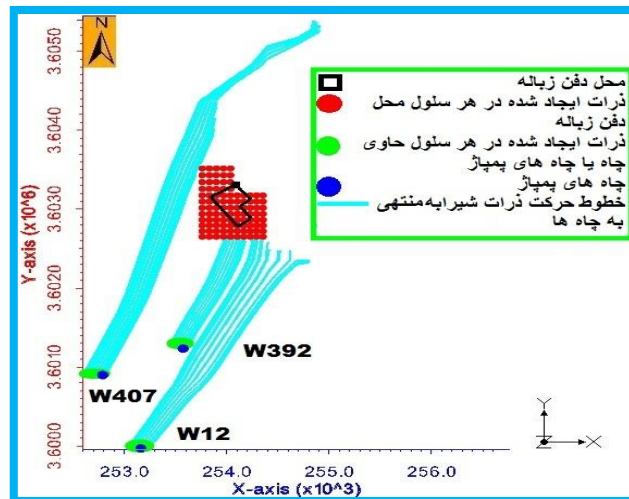
با بررسی (شکل ۱۸ و ۱۹) و (جدول ۴ و ۵) نتیجه گیری می شود که با افزایش نرخ پمپاژ از ۳ نمونه چاه پمپاژ به نام های W12, W392, W407 در آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک، متوسط زمان سیر و طول مسیر ذرات شیرابه از محل دفن زباله به آن چاه ها کاهش یافته است.

### تاثیر سناریوی ۱۰ درصد کاهش پمپاژ چاه های بهره برداری در حالت ماندگار به روش پسر و

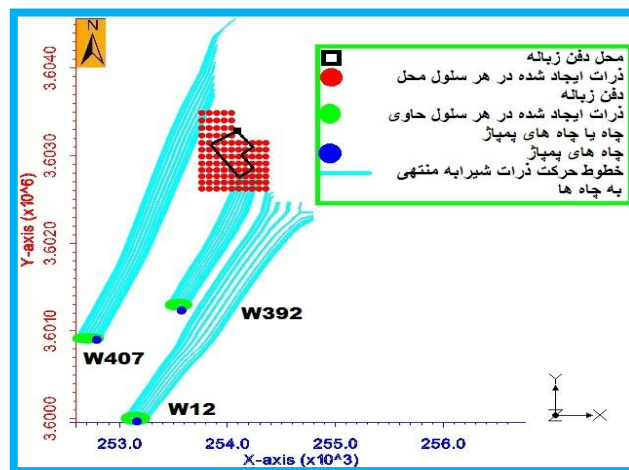
به منظور انجام این سناریو، و ارزیابی کاهش ۱۰ درصدی پمپاژ از چاه ها بر زمان و طول مسیر حرکت ذرات شیرابه منتهی به آن ها، دبی خروجی از هر چاه به میزان ۱۰ درصد کاهش یافت و مقدار جدید پمپاژ چاه ها وارد بسته چاه در نرم افزار GMS شد و مدل اجرا شد. در این قسمت نتایج حاصل از بررسی جزئی تر چند چاه (W12, W392, W407) به عنوان نمونه آورده شده است (شکل ۲۰) و (جدول ۶).



شکل ۲۰. شبیه سازی حرکت ذرات شیرابه منتهی به ۳ نمونه چاه پمپاژ موجود در آبخوان به روش پسر و با اعمال ۱۰ درصد کاهش پمپاژ.



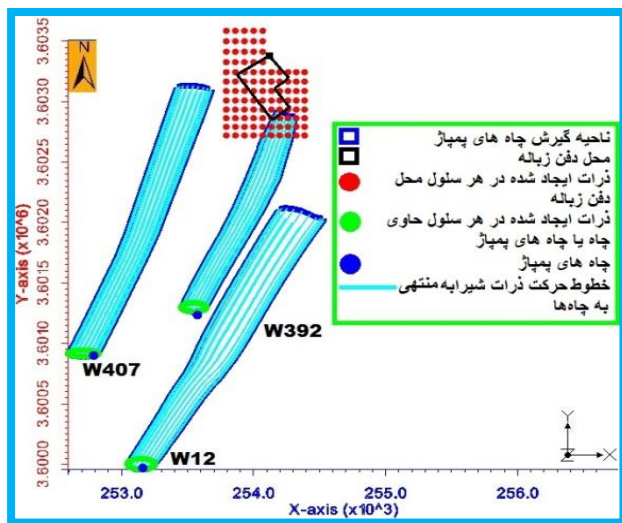
شکل ۱۸. شبیه سازی حرکت ذرات شیرابه منتهی به ۳ نمونه چاه پمپاژ موجود در آبخوان بدون اعمال ۱۰ درصد افزایش پمپاژ به روش پسر و.



شکل ۱۹. شبیه سازی حرکت ذرات شیرابه منتهی به ۳ نمونه چاه پمپاژ موجود در آبخوان به روش پسر و با اعمال ۱۰ درصد افزایش پمپاژ.

جدول ۴. متوسط زمان و طول مسیر حرکت ذرات منتهی به ۳ نمونه چاه پمپاژ موجود در آبخوان به روش پسر و بدون اعمال افزایش یا کاهش پمپاژ.

طول مسیر حرکت ذرات شیرابه (متر)	زمان حرکت ذرات شیرابه (سال)	
	متوسط	چاه های پمپاژ
متوسط	متوسط	W12
۲۹۵۶,۱۶	۴۵,۱۰	
۱۷۰۹,۶۲	۲۵,۳۹	W392
۴۳۰۸,۱۸	۷۳,۱۰	W407



شکل ۲۲. ناحیه گیرش (مترمربع) ۳ نمونه چاه پمپاژ آبخوان به روش پسر و با اعمال ۱۰ درصد افزایش پمپاژ.

جدول ۷. مساحت ناحیه گیرش (مترمربع) ۳ نمونه چاه پمپاژ آبخوان به روش پسر و بدون اعمال افزایش یا کاهش پمپاژ.

مساحت ناحیه گیرش (مترمربع)	
۵۸۰۵۳۰٫۲	W12
۳۳۴۹۱٫۱	W392
۴۸۲۴۲۲٫۲	W407

جدول ۸. مساحت ناحیه گیرش (مترمربع) ۳ نمونه چاه پمپاژ آبخوان به روش پسر و با اعمال ۱۰ درصد افزایش پمپاژ.

مساحت ناحیه گیرش (مترمربع)	
۶۷۸۳۷۹٫۱	W12
۳۵۲۱۹۱٫۷	W392
۵۳۹۵۳۶٫۶	W407

با بررسی (شکل ۲۱ و ۲۲) و (جدول ۷ و ۸) نتیجه گیری می شود که با افزایش نرخ پمپاژ ۳ نمونه چاه بهره برداری به نام های W12, 392, 407 در آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک، مساحت ناحیه گیرش این چاه های بهره برداری (W12, 407, 392) در مجاور منبع آلودگی (زباله دانی اندیمشک) افزایش یافته است.

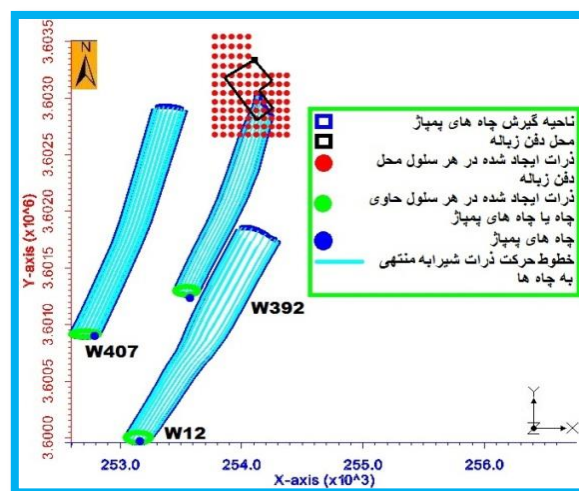
جدول ۶. متوسط زمان و طول مسیر حرکت ذرات منتهی به ۳ نمونه چاه پمپاژ موجود در آبخوان به روش پسر و با اعمال ۱۰ درصد کاهش پمپاژ.

طول مسیر حرکت ذرات شیرابه (متر)	زمان حرکت ذرات شیرابه (سال)	
	متوسط	چاه های پمپاژ
متوسط	۵۳٫۸۷	W12
۲۹۸۷٫۵۵	۳۵٫۴۴	W392
۲۰۴۹٫۹۸	۸۸٫۴۱	W407
۴۵۳۸٫۳۲		

با بررسی (شکل ۲۰) و (جدول ۶) نتیجه گیری می شود که با کاهش نرخ پمپاژ از ۳ نمونه چاه پمپاژ به نام های W12, 392, 407 در آبخوان، متوسط زمان سیر و طول مسیر ذرات شیرابه از محل دفن زباله به آن چاه ها افزایش یافته است.

### بررسی تاثیر تغییرات پمپاژ بر گسترش ذرات شیرابه تاثیرسناریوی ۱۰ درصد افزایش پمپاژ چاه های بهره برداری در حالت ماندگار به روش پسر و در طول ۳۰ سال ردیابی

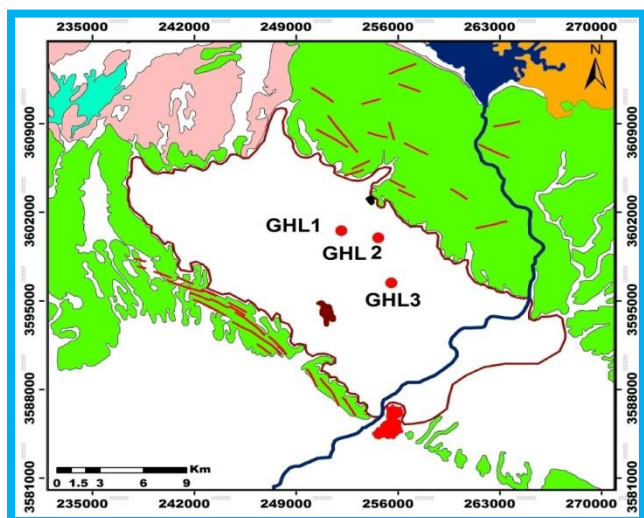
ناحیه ی گیرش یک چاه پمپاژ در واقع عبارت است از یک منطقه سه بعدی در اطراف چاه پمپاژ که آب آن بر اساس شرایط هیدروژئولوژیکی و هیدرولیکی موجود، توانایی ورود به آن چاه پمپاژ را دارد. با توجه به تغییرات کیفیت آب های زیرزمینی در نقاط مختلف آبخوان دشت لور اندیمشک، آگاهی از نواحی گیرش چاه های پمپاژ به منظور تعیین مناطقی که کیفیت آب چاه را تحت تاثیر قرار می دهند، اهمیت زیادی دارد. به منظور انجام این سناریو، و ارزیابی افزایش ۱۰ درصدی پمپاژ از چاه ها بر مساحت ناحیه گیرش شان، دبی خروجی از هر چاه به میزان ۱۰ درصد افزایش یافت و مقدار جدید پمپاژ چاه ها وارد بسته چاه در نرم افزار GMS شد و مدل اجرا شد. در این قسمت نتایج حاصل از بررسی جزئی تر چند چاه (W12, W392, W407) به عنوان نمونه آورده شده است. (شکل ۲۱ و ۲۲) و (جدول ۷ و ۸).



شکل ۲۱. ناحیه گیرش (مترمربع) ۳ نمونه چاه پمپاژ آبخوان به روش پسر و بدون اعمال افزایش یا کاهش پمپاژ.

شبیه‌سازی حرکت ذرات منتهی به چند چاه نمونه‌برداری کیفی موجود در آبخوان به روش پسرود در مدت ۵۰ سال  
 موقعیت ۳ نمونه چاه نمونه‌برداری کیفی موجود در آبخوان  
 چاه‌های نمونه‌برداری کیفی انتخاب شده در این تحقیق چاه‌های عمیقی هستند که در امتداد زباله دانی اندیمشک واقع شده‌اند. (جدول ۱۰) و (شکل ۲۴) به ترتیب مشخصات و موقعیت این چاه‌ها را نشان می‌دهد.  
 جدول ۱۰. مشخصات ۳ نمونه چاه نمونه‌برداری کیفی موجود در آبخوان.

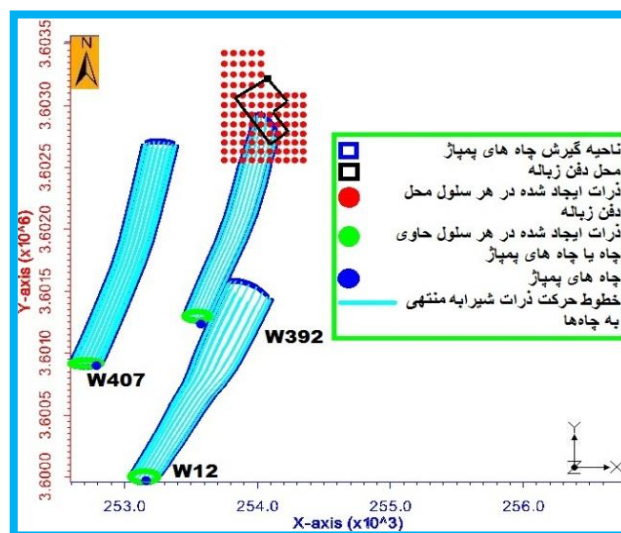
نام چاه	علامت اختصاری	UTM Y	UTM X
قلعه لور	GHL1	۳۶۰۰۶۲۳	۲۵۲۰۶۷
قلعه لور	GHL2	۳۶۰۰۰۴۶	۲۵۴۶۲۷
قلعه لور	GHL3	۳۵۹۶۴۶۳	۲۵۵۵۳۸



شکل ۲۴. موقعیت ۳ نمونه چاه نمونه‌برداری کیفی موجود در آبخوان.

ناحیه گیرش سه نمونه چاه نمونه‌برداری کیفی موجود در آبخوان  
 در این قسمت ابتدا با استفاده از مدل MODPATH، ناحیه گیرش مربوط به ۳ نمونه چاه نمونه‌برداری کیفی دشت لور به نام‌های GHL1، GHL2 و GHL3 محاسبه، ترسیم و ارائه شده‌است (شکل ۲۵). مساحت ناحیه گیرش چاه‌های GHL1، GHL2 و GHL3 به ترتیب برابر با ۱۲۶۹۵۳۰، ۸۸۲۵۹۰، ۵۷۳۲۱۲،۵ متر مربع بدست آمد.

تاثیرسناریوی ۱۰ درصد کاهش پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری در حالت ماندگار به روش پسرود در طول ۳۰ سال ردیابی  
 به منظور انجام این سناریو، و ارزیابی کاهش ۱۰ درصدی پمپاژ از چاه‌ها بر مساحت ناحیه گیرش‌شان، دبی خروجی از هر چاه به میزان ۱۰ درصد کاهش یافت و مقدار جدید پمپاژ چاه‌ها وارد بسته چاه در نرم‌افزار GMS شد و مدل اجرا شد. در این قسمت نتایج حاصل از بررسی جزئی تر چند چاه (W12, W392, W407) به عنوان نمونه آورده شده است. (شکل ۲۳) و (جدول ۹).



شکل ۲۳. ناحیه گیرش (مترمربع) ۳ نمونه چاه پمپاژ آبخوان به روش پسرود با اعمال ۱۰ درصد کاهش پمپاژ.

جدول ۹. مساحت ناحیه گیرش (مترمربع) ۳ نمونه چاه پمپاژ آبخوان به روش پسرود با اعمال ۱۰ درصد کاهش پمپاژ.

مساحت ناحیه گیرش (مترمربع)	
۴۸۱۰۹۴،۱	W12
۳۳۱۳۵۳،۴	W392
۴۱۷۳۸۱،۹	W407

با بررسی (شکل ۲۳) و (جدول ۹) نتیجه‌گیری می‌شود که با کاهش نرخ پمپاژ ۳ نمونه چاه بهره‌برداری به نام‌های W12، 392، 407 در آبخوان، مساحت ناحیه گیرش این چاه‌های بهره‌برداری (W12، 392، 407) در مجاور منبع آلودگی (زباله دانی اندیمشک) کاهش یافته است.

با بررسی (شکل ۲۴ و ۲۵) و (جدول ۱۱) موارد زیر نتیجه گیری می شود:

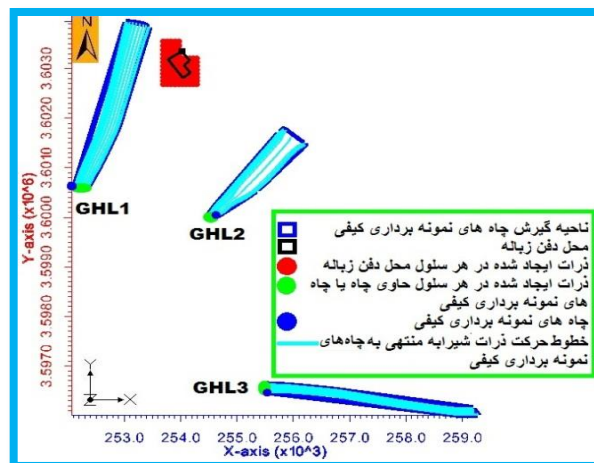
- ✓ غلظت نیترات در چاه های GHL1، GHL2 و GHL3 بیشتر از حد استاندارد سازمان جهانی بهداشت (World Health Organization)، ۵۰ میلی گرم بر لیتر (mg/l) است.
- ✓ با توجه به قرارگیری ناحیه گیرش چاه های GHL1 و GHL2 در نزدیکی محل دفن زباله اندیمشک و فاصله دورتر از زمین های کشاورزی غلظت زیاد یون نیترات را در چاه های GHL1 و GHL2 می توان به زباله دانی اندیمشک مرتبط دانست.
- ✓ با توجه به قرارگیری ناحیه گیرش چاه GHL3 در فاصله نزدیکتر از زمین های کشاورزی و فاصله دورتر از محل دفن زباله اندیمشک، غلظت زیاد یون نیترات را می توان به فعالیت های کشاورزی و استفاده بیش از حد از سموم و کود های شیمیایی مربوط دانست.
- ✓ فاصله دو چاه GHL1 و GHL2 از مرکز محل دفن زباله اندیمشک تقریباً یکسان می باشند. در نتیجه غلظت بیشتر یون نیترات در چاه GHL1 نسبت به GHL2 تایید کننده نتایج بدست آمده از ردیابی ذرات توسط مدل MODPATH مبنی بر این که پتانسیل آلوده شدن چاه GHL1 بوسیله شیرابه ناشی از زباله دانی اندیمشک بیشتر از چاه GHL2 می باشد.

### نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از داده های زمین شناسی و هیدروژئولوژیکی موجود، مدل عددی جریان و انتقال آلودگی آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک با استفاده از کدهای عددی MODFLOW و MODPATH موجود در نرم افزار GMS، تهیه شد. نتایج کالیبراسیون مدل عددی جریان آب زیرزمینی تهیه شده با کد MODFLOW نشان داد که این مدل کاملاً قابل اطمینان و می تواند در تهیه مدل انتقال آلودگی مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج شبیه سازی انتقال آلودگی انجام شده توسط مدل MODPATH مشخص نمود که ذرات شیرابه زباله دانی اندیمشک، با طی مسیری به طول متوسط ۸۰۹۵،۰۲ متر در متوسط زمان ۱۹۵،۹۹ سال به چاه های W8,9,11,12,124,168,287,369,370,371,372,374,389,392,396,401,407 رسیده و این ۱۷ چاه را آلوده می کند. پس از مشخص شدن پتانسیل زباله دانی اندیمشک در آلوده کردن چاه های بهره برداری موجود در پایین دست خود، سناریوی مدیریتی افزایش و کاهش پمپاژ از چاه های بهره برداری موجود در آبخوان دشت لور اندیمشک مطرح و تاثیر این سناریو بر کیفیت آب چاه های آلوده شده بررسی و منجر به نتایج زیر شد.

۱- با کاهش نرخ پمپاژ از چاه های بهره برداری موجود در آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک، متوسط زمان و طول مسیر حرکت ذرات شیرابه از محل دفع زباله به چاه های آلوده شده افزایش یافته است. بنابراین زمان لازم و فرصت کافی برای تصفیه طبیعی شیرابه به وسیله خاک افزایش یافته و در



شکل ۲۵. ناحیه گیرش (مترمربع) ۳ نمونه چاه نمونه برداری کیفی موجود در آبخوان به روش پسرود.

با بررسی (شکل ۲۵) موارد زیر نتیجه گیری می شود:

- ✓ فاصله محل دفن زباله از محل قرارگیری ناحیه گیرش مربوط به چاه GHL1 کمتر از چاه GHL2 و GHL3 می باشد بنابراین پتانسیل آلوده شدن چاه GHL1 بوسیله شیرابه ناشی از زباله دانی اندیمشک بیشتر از چاه های GHL2 و GHL3 است.
- ✓ فاصله محل دفن زباله از محل قرارگیری ناحیه گیرش مربوط به چاه GHL2 کمتر از چاه GHL3 می باشد بنابراین پتانسیل آلوده شدن چاه GHL2 بوسیله شیرابه ناشی از زباله دانی اندیمشک بیشتر از چاه های GHL3 است.

### صحت سنجی نتایج بدست آمده از ردیابی حرکت ذرات منتهی به چند نمونه برداری کیفی در دشت لور به روش پسرود به کمک داده های هیدروشیمی چاه ها

بعد از ترسیم ناحیه گیرش برای چاه های GHL1، GHL2 و GHL3 توسط مدل MODPATH و مشخص شدن پتانسیل آلوده شدن تعدادی از این چاه ها به وسیله زباله دانی اندیمشک به صورت نتایج اولیه، این نتایج اولیه با استفاده از داده های هیدروشیمی بدست آمده از آب این چاه ها، مورد صحت سنجی قرار گرفت.

در این تحقیق از یون نیترات برای صحت سنجی نتایج بدست آمده از ردیابی ذرات توسط مدل MODPATH استفاده شده است. میزان سنجش یون نیترات در نمونه های آب چاه های انتخابی در بهمن ۹۴ در (جدول ۱۱) آمده شده است.

جدول ۱۱. میزان نیترات در نمونه های آب چاه های انتخابی در بهمن ۹۴.

نام چاه	علامت اختصاری	No3(mg/l)
قلعه لور	GHL1	۱۰۳،۸۳
قلعه لور	GHL2	۶۴،۰۲
قلعه لور	GHL3	۱۱۰،۱۳

در نهایت به منظور اطمینان از درستی نتایج شبیه‌سازی انتقال آلودگی انجام شده بوسیله مدل MODPATH، نتایج بدست آمده از این مدل به کمک داده‌های هیدروشیمی مورد صحت‌سنجی قرار گرفت و نتایج حاصله از داده‌های هیدروشیمی صحت نتایج بدست‌آمده از ردیابی ذرات توسط مدل MODPATH تایید شد.

نتیجه کیفیت آب چاه‌های بهره‌برداری مجاور زباله دانی مطلوب تر می شود. ۲- با کاهش نرخ پمپاژ از چاه های بهره‌برداری موجود در آبخوان آزاد دشت لور اندیمشک، مساحت ناحیه گیرش چاه های آلوده شده در مجاور منبع آلودگی (زباله دانی اندیمشک) کاهش یافته است. بنابراین با کاهش مساحت ناحیه گیرش چاه‌های بهره‌برداری مجاور زباله دانی خطر آلوده‌شدن‌شان نیز کاهش می‌یابد.

### سپاسگزاری

از پرسنل محترم سازمان آب و برق خوزستان بویژه آقای مهندس حیدری به خاطر همکاری‌هایی که داشتند، قدردانی می‌نمایم.

### منابع

- بانزاد، ح.، محب‌زاده، ح.، قبادی، م.، ح.، حیدری، م.، ۱۳۹۲. شبیه‌سازی عددی جریان و انتقال آلودگی در آبهای زیرزمینی، مطالعه موردی: آبخوان دشت نهاوند، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۲، ص ۴۳-۵۷.
- علیجانی، ف. عطایی زاده، س. استاد هاشمی، ز. میرزازبی، ل. تولابی شیخی، غ. (۱۳۹۰). بدترین محل پسماندهای شهری ایران، شبیه‌سازی زباله دانی اندیمشک بر کیفیت آب های زیرزمینی با MT3D. همایش ملی مهندسی عمران کاربردی و دستاوردهای نوین، کرج، شرکت سازه کویر.
- مصلحی بهارانچی، ای. صفوی، ح. ر. ۱۳۸۹. تخمین ضرایب دیسپرسیویته مکانیکی در شرایط عدم قطعیت، مطالعه موردی: آبخوان کوهپایه- سگری اصفهان، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه فردوسی مشهد.
- نظری، ر. جودوی، ع. ۱۳۹۳. مدل‌سازی کاربردی جریان و انتقال آلاینده در آبخوان. انتشارات نشر آفتاب عالم‌تاب، مشهد.
- Anderson, M. P., Woessner, W. W., & T romp, T. K. (1997). Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. *Pure and Applied Geophysics*, 149(3), 634-634
- Berberian, M. (1995). Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241(3-4), 193197199-195224.
- Chofqi, A., Younsi, A., Lhadi, E. K., Mania, J., Mudry, J., & Veron, A. (2004). Environmental impact of an urban landfill on a coastal aquifer (El Jadida, Morocco). *Journal of African earth sciences*, 39(3), 509-516.
- El-Salam, M. M. A., & Abu-Zuid, G. I. (2015). Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt. *Journal of advanced research*, 6(4), 579-586.
- El Yaouti, F., El Mandour, A., Khattach, D., & Kaufmann, O. (2008). Modelling groundwater flow and advective contaminant transport in the Bou-Areg unconfined aquifer (NE Morocco). *Journal of Hydro-environment Research*, 2(3), 192-209.
- Fatta D., Papadopoulous A., & Loizidou, M. (1999). A study on the landfill leachate and its impact on the groundwater quality of the greater area. *Environ Geochem Health*, 21 (2), 175-190.
- Flugel, W. A., & Michl, C. (1995). Using MODFLOW/MODPATH combined with GIS analysis for groundwater modelling in the alluvial aquifer of the river Sieg, Germany. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*, 227, 117-124.
- Han, D., Tong, X., Currell, M. J., Cao, G., Jin, M., & Tong, C. (2014). Evaluation of the impact of an uncontrolled landfill on surrounding groundwater quality, Zhoukou, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 136, 24-39.
- Lee, J. Y., Cheon, J. Y., Kwon, H. P., Yoon, H. S., Lee, S. S., Kim, J. H., ... & Kim, C. G. (2006). Attenuation of landfill leachate at two uncontrolled landfills. *Environmental geology*, 51(4), 581-593.
- Pollock, D. W. (1994). User's Guide for MODPATH/MODPATH-PLOT, Version 3: A Particle Tracking Post-processing Package for MODFLOW, the US: Geological Survey Finite-difference Ground-water Flow Model (pp. 94-464). US Department of Interior.
- Rayne, T. W., Bradbury, K. R., & Muldoon, M. A. (2001). Delineation of capture zones for municipal wells in fractured dolomite, Sturgeon Bay, Wisconsin, USA. *Hydrogeology Journal*, 9(5), 432-450.
- Saarela, J. (2003). Pilot investigations of surface parts of three closed landfills and factors affecting them. *Environmental monitoring and assessment*, 84(1), 183-192.
- Stocklin, J. (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG Bulletin*, 52(7), 1229-1258.