

Groundwater Modeling to Determine Hydrodynamic Coefficients in Unconfined Aquifer (Case Study: Kermanshah Plain)

KHADIJE BARATI¹, JAHANGIR ABEDI KOOPAEI^{2*}, ARASH AZARI³, ELHAM DARVISHI⁴, ALI YOUSEFI⁵

1. Ph.D. Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.
5. Assistant Professor, Department of Rural Development, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

(Received: June. 4, 2018- Revised: July. 15, 2018- Accepted: Oct. 27, 2018)

ABSTRACT

The water movement in the aquifer is studied using the basic equations of flow, i.e. Darcy, continuity and mass survival equations, which are differently analyzed in the case of confined and unconfined aquifers. In these equations, hydrodynamic coefficients and other characteristics of the aquifer are used. Therefore, the determination of hydrodynamic coefficients of aquifer is necessary for groundwater studies. The most important characteristics of the aquifer i.e. hydrodynamic coefficients can be determined across the aquifer using modeling. If the aquifer model is properly provided, it can be a useful tool for better recognition of aquifer characteristics and also predicting the impact of different management plans on the water resources of the region. In this study, groundwater modeling was performed to determine the hydrodynamic coefficients in the unconfined aquifer of Kermanshah plain using GMS 7.1 software. The results showed that the amount of hydraulic conductivity in the Kermanshah plain aquifer varies from 0.1 to 30 meter per day and the amount of specific yield varies from 0.02 to 0.4. The amounts of computed water table by the model and the observed water table in the piezometers have high correlation and the root mean square error value is always less than one, which indicates the acceptable accuracy of the model for simulating the aquifer status.

Keywords: Hydraulic Conductivity Coefficient, Specific Yield, GMS 7.1 Software

مدل سازی آب زیرزمینی به منظور تعیین ضرایب هیدرودینامیک در آبخوان آزاد (مطالعه موردی: دشت

کرمانشاه)

خدیجه براتی^۱، جهانگیر عابدی کوپایی^{۲*}، آرش آذری^۳، الهام درویشی^۴، علی یوسفی^۵

۱. دانشجوی دکترا، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲. استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۴. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۵. استادیار گروه توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۱۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۴/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۸/۵)

چکیده

مطالعه حرکت آب در آبخوان با استفاده از معادلات اساسی جریان یعنی معادلات دارسی، پیوستگی و بقای جرم صورت می‌گیرد که در مورد آبخوان‌های محصور و غیرمحصور به صورت متفاوت مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. در این معادلات از ضرایب هیدرودینامیک و دیگر مشخصه‌های آبخوان استفاده می‌شود. لذا تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان لازمه مطالعات آب زیرزمینی می‌باشد. مهم‌ترین ویژگی‌های آبخوان یعنی ضرایب هیدرودینامیک را می‌توان از طریق مدل سازی در سراسر محدوده آبخوان تعیین نمود. اگر مدل آبخوان درست تهیه شود می‌تواند ابزار ارزشمندی برای شناخت بهتر ویژگی‌های آبخوان و همچنین پیش‌بینی تأثیر طرح‌های مختلف مدیریتی بر منابع آب منطقه باشد. در این مطالعه، مدل سازی آب زیرزمینی به منظور تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان آزاد دشت کرمانشاه با استفاده از نرم‌افزار GMS 7.1 انجام گرفت. نتایج نشان داد مقدار هدایت هیدرولیکی در آبخوان دشت کرمانشاه، از ۰/۱ تا ۳۰ متر در روز و مقدار آبدی ویژه از ۰/۰۲ تا ۰/۴ متغیر است. مقادیر سطح ایستابی محاسبه شده توسط مدل و سطح ایستابی مشاهداتی در پی‌زومترها دارای همبستگی بالایی هستند و مقدار ریشه میانگین مربعات خطا همواره کمتر از یک است که نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل برای شبیه‌سازی وضعیت آبخوان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ضریب هدایت هیدرولیکی، آبدی ویژه، نرم‌افزار GMS 7.1

مقدمه

آبخوان ابتدا به کمک مقدار محدودی بررسی‌های اکتشافی برآورد می‌شود. سپس در آینده و در زمان توسعه بهره‌برداری، به تدریج کمبود داده‌ها برطرف می‌گردد. بنابراین شناخت کامل یک آبخوان صرفاً از طریق بررسی‌های اکتشافی، به دلیل پرهزینه و وقت‌گیر بودن عملاً انجام نمی‌گیرد. مدل‌سازی آب زیرزمینی روشی مفید برای پی بردن به ویژگی‌های آبخوان در نقاط مختلف آن است. به عبارت دیگر، از طریق مدل‌سازی می‌توان ویژگی‌های آبخوان از جمله مهم‌ترین آنها یعنی ضرایب هیدرودینامیک را که در بررسی‌های اکتشافی صرفاً به صورت نقطه‌ای و اغلب بسیار محدود تعیین شده‌اند، در کل محدوده آبخوان تعیین نمود. اگر مدل آبخوان درست تهیه شود ابزار ارزشمندی برای شناخت بهتر و کامل‌تر ویژگی‌های آبخوان می‌باشد. همچنین این مدل را می‌توان برای پیش‌بینی تأثیر طرح‌های مختلف مدیریتی بر منابع آب منطقه مورد نظر به کار برد (Ministry of Energy Publication, 2014).

بشر به تدریج دریافت که برای بررسی ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده و همچنین پیش‌بینی وضعیت آینده آنها نیاز دارد که آنها را به شکل‌های ساده‌تری تبدیل نماید تا بتواند بررسی‌های لازم را روی شکل ساده شده آنها انجام دهد. مدل، ابزار مناسبی برای ساده نمودن سیستم‌های پیچیده به شمار می‌رود. طبیعت پیچیده منابع آب و به ویژه منابع آب زیرزمینی نیازمند تعریف و به کارگیری مدل برای رسیدن به شناخت کافی در مورد آنها و پیش‌بینی وضعیت آینده آنهاست. آبخوان‌ها در سالیان دراز و طی فرآیندهای گوناگون زمین‌شناسی به وجود آمده‌اند و ویژگی‌های ساختمانی آنها در نقاط مختلف ناهمسان و بسیار متغیر است. از طرفی، آبخوان در زیر زمین و دور از دید مستقیم قرار دارد. به همین دلیل در مطالعات منابع آب، ویژگی‌های

* نویسنده مسئول: koupai@cc.iut.ac.ir

روز و آبدهی ویژه آبخوان از ۰/۰۷ تا ۰/۰۹ متغیر است. Ghobadian *et al.* (2014) برای بررسی تأثیر احداث شبکه آبیاری و زهکشی سد گاوشان بر منابع آب زیرزمینی میاندریند (بخشی از دشت کرمانشاه)، آبخوان تحت پوشش آن را با استفاده از نرم‌افزار GMS 6.5 شبیه‌سازی کردند. محدوده مورد بررسی در این تحقیق، بخشی از محدوده مطالعه شده در تحقیق حاضر (کل دشت کرمانشاه) است. به عبارت دیگر این محققین، کل آبخوان دشت کرمانشاه را به صورت یکپارچه مورد بررسی قرار نداده‌اند و فقط بخشی از آبخوان دشت کرمانشاه که در محدوده میاندریند قرار می‌گیرد را مدل‌سازی کرده‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داده است که مقدار هدایت هیدرولیکی در محدوده آبخوان میاندریند، بین ۰/۰۱ تا ۲ متر در روز و مقدار آبدهی ویژه نیز ۲/۲ درصد است که با نتایج بررسی‌های اکتشافی محدوده مورد مطالعه همخوانی ندارد.

Nakhaei *et al.* (2014) به منظور مدیریت بهره‌برداری بهینه از آبخوان دشت ساحلی ارومیه و تعیین نرخ بهینه پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری، مدل آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی مورد نظر را با استفاده از نرم‌افزار Visual MODFLOW 4.2 تهیه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار هدایت هیدرولیکی برای آبخوان مورد مطالعه بین ۱ تا ۱۰ متر در روز و مقدار آبدهی ویژه ۱ تا ۱۰ درصد می‌باشد.

Abedi Koupai and Golabchian (2015) به منظور برآورد ضرایب هیدرودینامیک منابع آب زیرزمینی زیرحوضه کوهپایه-سگری از مدل MODFLOW استفاده کردند. آنها واسنجی مدل در حالت ماندگار را برای یک سال آبی، حالت غیر ماندگار را برای ۳ سال آبی و صحت‌سنجی را برای یک سال آبی انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که هدایت هیدرولیکی آبخوان از ۱۵/۲۶ تا ۱۹/۸۷ متر در روز و آبدهی ویژه آبخوان از ۰/۰۱۰۷ تا ۰/۰۱۸۶ متغیر است.

Rahnama *et al.* (2016) منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان را با استفاده از مدل Visual MODFLOW شبیه‌سازی کردند. آنها واسنجی مدل در حالت جریان ماندگار را برای زمستان ۱۳۸۳ که در آن تغییرات سطح ایستابی ناچیز و بین تغذیه و تخلیه آبخوان تعادل برقرار بوده است انجام دادند و مقادیر هدایت هیدرولیکی آبخوان را به کمک کد PEST تخمین زدند. سپس مدل را برای سال‌های ۸۰-۱۳۷۵ براساس پی‌یود سه ماهه و گام زمانی یک ماهه واسنجی کردند. صحت‌سنجی مدل نیز برای بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ انجام گرفت. این محققین مقدار پارامتر ریشه میانگین مربعات خطا را برای مدل جریان ماندگار و غیر ماندگار به ترتیب ۰/۵۰۱ و ۰/۹۰۶ ذکر

بررسی آمار پارامترهای دما و بارندگی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در سال‌های ۳۱-۱۳۳۰ تا ۹۴-۱۳۹۳ حاکی از آن است که از سال آبی ۷۳-۱۳۷۲ تاکنون، مقدار دمای میانگین سالانه همواره بیشتر از میانگین دمای کل سال‌های آماری (۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد) بوده است. این آمار همچنین نشان می‌دهند که از سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ تاکنون، مقدار مجموع بارندگی سالانه همواره کمتر از میانگین بارندگی کل سال‌های آماری (۴۳۸ میلی‌متر) بوده است. این آمار بیانگر افزایش دما و کاهش بارندگی در سال‌های اخیر در منطقه مذکور هستند. در تیرماه سال ۱۳۹۴، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه از کل دشت‌های استان، ۸ دشت را ممنوعه اعلام کرد. این شرکت اعلام کرد این تصمیم در پی مصرف بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، کاهش پایین‌تر از حد طبیعی بارندگی، به ویژه بارش برف، و نیز افزایش بی‌سابقه دمای هوا اتخاذ شده است. این طرح در چارچوب طرح سراسری احیاء و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی اجرایی شد که طی آن در این دشت‌ها افزایش سطح زیر کشت و حفر چاه برای تأمین آب کشاورزی ممنوع شد. از طرفی، افزایش تمایل کشاورزان به توسعه کشت محصولات زراعی آب‌بر در این منطقه، تقاضا برای حفر چاه را افزایش داده است. بهره‌برداری بی‌رویه و کنترل نشده چاه‌های موجود و حفر چاه‌های غیر مجاز سبب گردیده تا سالانه شاهد افت سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آن باشیم. در چنین شرایطی، مدیریت صحیح آب در تخصیص بهینه این نهاده، بسیار مهم تلقی می‌شود و برای مدیریت آن لازم است شناخت کامل و جامعی از مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی داشت تا بتوان نتیجه تصمیمات اتخاذ شده را قبل از اجرای آنها متوجه شد. از این رو تهیه مدلی که بتواند به طور جامع، تمامی عوامل مؤثر بر بیلان آب زیرزمینی منطقه را مورد بررسی قرار دهد ضروری به نظر می‌رسد. یکی از مزایای تهیه مدل آب زیرزمینی، تعیین پارامترهای کمتر شناخته‌شده آبخوان از روی سایر اطلاعات موجود است. از جمله، پارامترهایی مثل هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه که اطلاعات آنها اغلب به صورت بسیار محدود و یا ناقص در دسترس است. از جمله تحقیقات انجام گرفته در این زمینه در سال‌های اخیر، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

Abareshi *et al.* (2013) به منظور تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان دشت زرین‌گل، از نرم‌افزار GMS 7.1 استفاده کردند. آنها واسنجی مدل در حالت ماندگار را برای یک ماه و حالت غیر ماندگار را به مدت ۵ سال با تنش‌های فصلی انجام دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت زرین‌گل از ۱۲/۸ تا ۱۷۸/۱ متر در

سرزمین‌های کوهستانی و مرتفع فرا گرفته است. در استان کرمانشاه دشت‌های متعددی وجود دارد که بر اساس حوضه‌های آبریز فرعی، تحت نام محدوده‌های مطالعاتی معرفی شده‌اند. استان کرمانشاه دارای ۳۳ محدوده مطالعاتی است که در شکل (۱) نشان داده شده‌اند. در این تحقیق، محدوده مطالعاتی کرمانشاه که در شکل (۱) با وضوح بیشتری نشان داده شده است مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل (۲) منحنی‌های تراز ارتفاعی محدوده مطالعاتی کرمانشاه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، مشاهده می‌شود که دشت کرمانشاه توسط ارتفاعات اطراف، محصور شده است. محدوده مطالعاتی کرمانشاه با وسعت ۱۹۸۵،۷۲۵ کیلومترمربع، بخشی از حوضه آبریز کرخه و در بخش علیای آن واقع شده است. مختصات جغرافیایی این محدوده مطالعاتی، بین طول‌های "۲۹ ۴۵' ۴۶° تا "۰۲ ۲۹' ۴۷° شرقی و بین عرض‌های "۴۰ ۳۴° تا "۲۲ ۴۲' ۳۴° شمالی می‌باشد. با توجه به تغییرات درجه حرارت، تبخیر و تعرق و میزان ریزش‌های جوی می‌توان آن را در زمره مناطق نسبتاً مرطوب قلمداد کرد که دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم است. آبخوان محدوده مطالعاتی کرمانشاه که در داخل دشت قرار دارد و در شکل (۳) محدوده آن مشخص شده است از نوع آبخوان آزاد و به وسعت ۶۷۲،۶۶ کیلومتر مربع می‌باشد. در این تحقیق، محدوده این آبخوان، جهت مدل‌سازی آب زیرزمینی در نظر گرفته شده است.

روش کار

در این تحقیق، از نرم‌افزار GMS^۱ نسخه ۷،۱ برای شبیه‌سازی رفتار آبخوان استفاده شد. GMS نرم‌افزاری پیچیده و جامع برای مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی است. این نرم‌افزار، واسطه گرافیکی و به عنوان پیش‌پرداز و پس‌پرداز برای ۱۰ نوع مدل آب زیرزمینی است که عمدتاً به روش‌های عددی تفاضل محدود و اجزای محدود به شبیه‌سازی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار می‌پردازند. این نرم‌افزار، قابلیت لینک شدن به نرم‌افزار GIS را نیز داراست. مدل‌هایی که GMS پشتیبانی می‌نماید شامل: MODFLOW، MODPATH، MT3DMS، RT3D، ART3D، SEAM3D، UTCHEM، FEMWAT، SEEP2D، MODAEM هستند. همه مدل‌های اشاره شده به تعدادی پارامتر به عنوان ورودی مدل نیاز دارند که می‌توان به مواردی از قبیل: تراز سطح زمین، تراز سطح و کف لایه‌های مختلف آبخوان، سطح ایستابی اولیه، داده‌های عوارض

کردند که نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل برای شبیه‌سازی وضعیت آبخوان می‌باشد.

Bijani *et al.* (2017) به منظور بررسی اثرات کف‌شکنی

چاه‌ها بر پتانسیل برداشت آب از آبخوان دشت علی‌آباد، این آبخوان را با استفاده از مدل عددی MODFLOW شبیه‌سازی کردند. آنها مدل را در حالت جریان ماندگار برای یک ماه واسنجی نموده و مقدار هدایت هیدرولیکی به دست آمده را ۵/۴۷ تا ۳۸/۳۵ متر در روز گزارش کردند. سپس مدل را برای حالت جریان غیر ماندگار در مدت یک سال با گام زمانی یک ماه واسنجی نمودند. آنها مقدار آبدهی ویژه را بر اساس گزارش‌های موجود، معلوم و برابر ۳ درصد در نظر گرفتند. پس از آن، مدل را برای اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی مورد استفاده قرار دادند.

Ketabchi *et al.* (2018) برای بررسی اثرات مدیریت آب

سبز در احیای آبخوان نمدان در استان فارس، این آبخوان را با استفاده از مدل MODFLOW شبیه‌سازی کردند. آنها واسنجی مدل در حالت جریان ماندگار را برای مقادیر متوسط سالانه در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ انجام دادند و مقادیر پارامترهای تغذیه از سطح و هدایت هیدرولیکی را به کمک کد PEST تخمین زدند. آنها مدل جریان غیر ماندگار را برای یک دوره ۷ ساله (۹۱-۱۳۸۵) واسنجی و برای یک دوره ۳ ساله (۹۴-۱۳۹۱) صحت‌سنجی نمودند و پس از تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان، اثرات اقدامات مالچ، خطوط سنگی، تراس و کانتور بر بیلان و تراز سطح آبخوان را مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، هدایت هیدرولیکی آبخوان نمدان از ۱ تا ۲۵ متر در روز و آبدهی ویژه آبخوان از ۰/۰۰۸ تا ۰/۲۱ متغیر است.

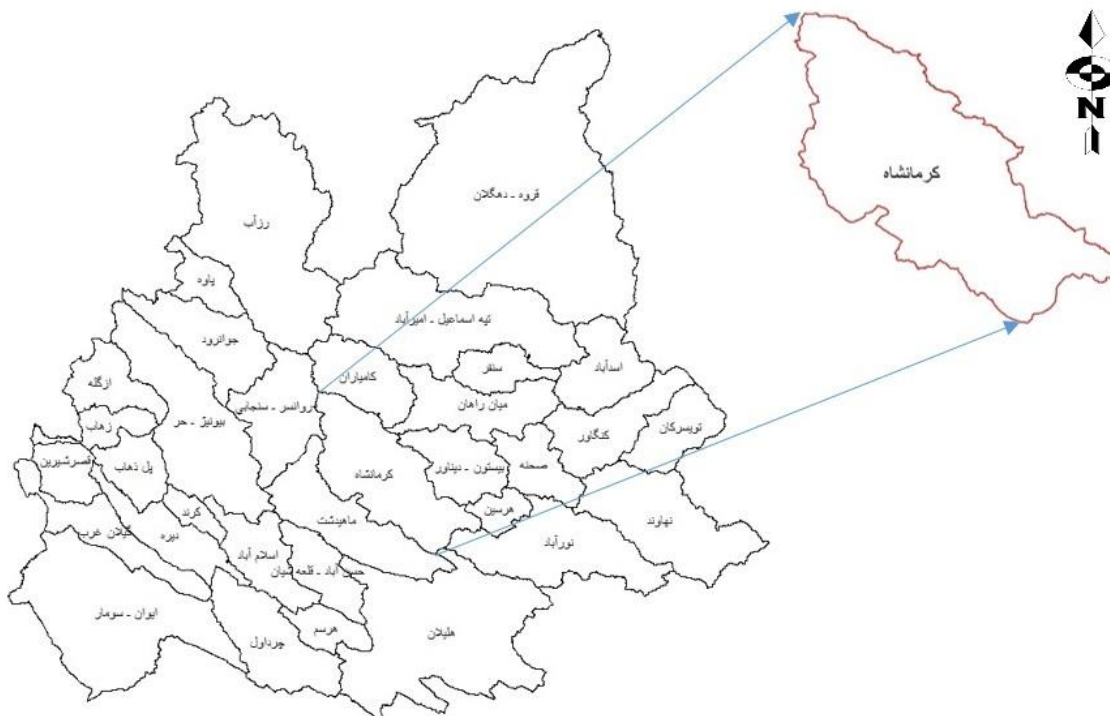
از آنجا که جهت آگاهی از ویژگی‌های آبخوان دشت کرمانشاه صرفاً اطلاعات تعداد محدودی چاه اکتشافی در دسترس می‌باشد و شناخت کامل ویژگی‌های آبخوان در سراسر محدوده آن صرفاً با این اطلاعات اندک امکان‌پذیر نیست لذا هدف این مطالعه، مدل‌سازی آب زیرزمینی به منظور تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان در کل محدوده آن با استفاده از نرم‌افزار GMS 7.1 است.

روش تحقیق

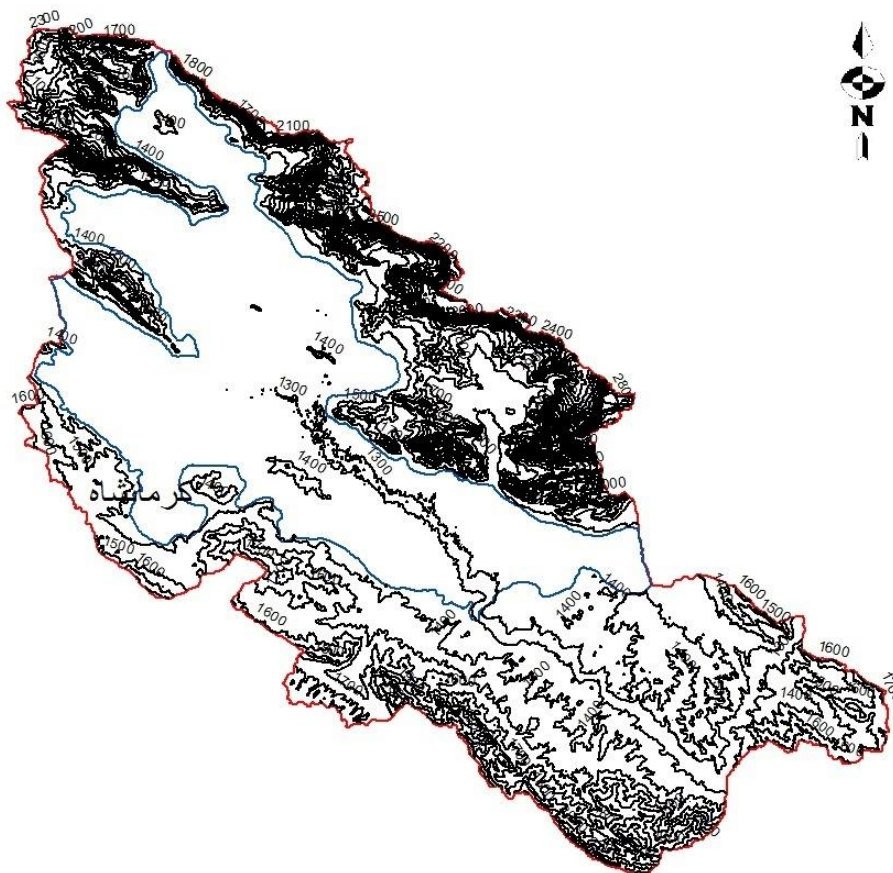
منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه با وسعتی حدود ۲۵۰۰۰ کیلومتر مربع در غرب ایران قرار دارد. در یک دید کلی، اراضی استان را می‌توان به دو واحد کوهستان و دشت تقسیم کرد. بیش از نیمی از استان را

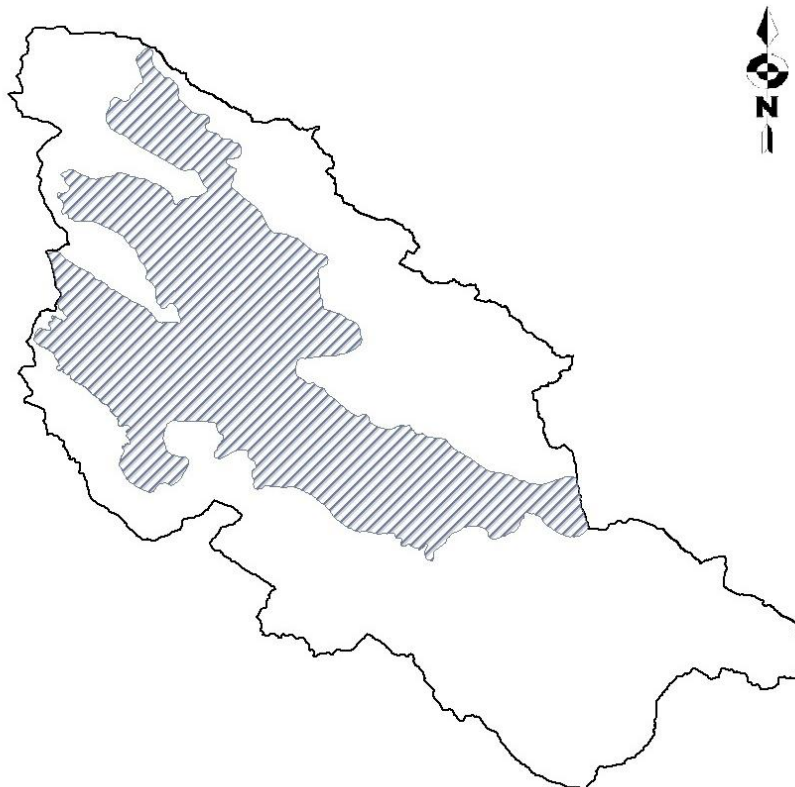
^۱ - Groundwater Modeling System



شکل ۱- محدوده های مطالعاتی استان کرمانشاه



شکل ۲- منحنی های تراز ارتفاعی محدوده مطالعاتی کرمانشاه



شکل ۳- مرز آبخوان محدوده مطالعاتی کرمانشاه (محدوده هاشورخورده)

پوشش مرز آبخوان

برای حل معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی توسط مدل MODFLOW در نرم افزار GMS، پلیگون معرف مرز آبخوان باید شبکه بندی شود. در این تحقیق، شبکه بندی ۵۰۰*۵۰۰ متری برای محدوده آبخوان در نظر گرفته شد.

پوشش چاه، چشمه، قنات

در محدوده آبخوان مورد مطالعه، تعداد ۳۹۱۰ حلقه چاه بهره برداری وجود دارد که ۳۰۵۲ حلقه دارای مصرف کشاورزی، ۸۴۸ حلقه دارای مصرف شرب و صنعت و ۱۰ حلقه دارای مصرف دام و طیور و خدمات می باشند. بر اساس اطلاعات موجود، تعداد ۱۶۷۹ حلقه از این چاهها در حال حاضر، خشک و فاقد آبدهی می باشند. همچنین تعداد ۱۰ دهنه چشمه و ۱ رشته قنات نیز در محدوده آبخوان دشت کرمانشاه وجود دارد. بررسی اطلاعات موجود در خصوص چاهها، چشمهها و قنات، نشان داد که تقریباً ۸۷ درصد از کل آب برداشت شده از آبخوان، صرف کشاورزی و ۱۳ درصد مابقی صرف سایر مصارف از جمله شرب، صنعت، دام و طیور و خدمات می شود.

پوشش رودخانه

رودخانههای رازآور و قرهسو عمده ترین جریانهای سطحی محدوده مطالعاتی کرمانشاه هستند که موقعیت آنها در محدوده

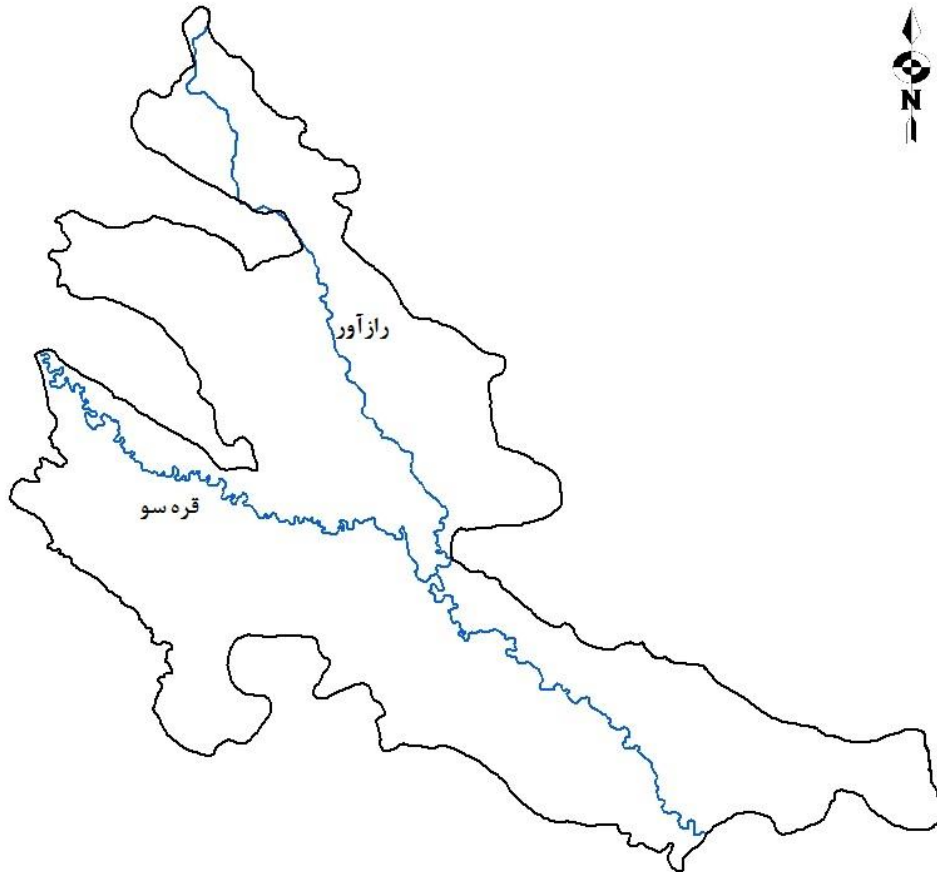
مختلف در محدوده آبخوان نظیر رودخانهها، ایستگاههای هیدرومتری، چاههای بهره برداری، چاههای مشاهده ای و زهکشها اشاره کرد. عوارض در GMS همانند GIS^۱ با نقطه، خط و پلیگون تعریف می شوند. از بین مدل های فوق الذکر، مدل MODFLOW بیشترین کاربرد را در شبیه سازی جریان آب زیرزمینی دارد. مدل MODFLOW توسط سازمان زمین شناسی آمریکا^۲ تهیه شده است و شبیه سازی جریان آب زیرزمینی را به صورت سه بعدی و به روش تفاضل محدود انجام می دهد.

برای شروع فرآیند مدل سازی آب زیرزمینی در نرم افزار GMS، ابتدا باید یک مدل مفهومی از آبخوان مورد مطالعه، تعریف و تنظیم گردد. در این مدل مفهومی، هر یک از عوارض نقطه ای (مانند چاههای بهره برداری)، خطی (مانند مرز آبخوان) و پلیگونی (مانند تغذیه سطحی) باید به صورت یک پوشش^۳ مجزا تعریف شده و به مدل معرفی گردند. لازم به ذکر است در این تحقیق، جهت افزایش سرعت و دقت عملیات، ابتدا عوارض مختلف، در نرم افزار GIS ترسیم شدند سپس فایل خروجی آنها در نرم افزار GMS فراخوانی شد.

1. Geographic Information System
2. United States Geological Survey (USGS)
3. Coverage

شده در ایستگاه‌های هیدرومتری برای شبیه‌سازی جریان در رودخانه‌ها استفاده شد. لازم به ذکر است در تعریف دبی جریان در رودخانه، مقادیر رواناب برگشتی کشاورزی، رواناب بارندگی، فاضلاب برگشتی شرب و صنعت و حقا به برداشتی توسط کشاورزان از مسیر رودخانه نیز مدنظر قرار گرفت.

آبخوان در شکل (۴) ارائه شده است. ایستگاه هیدرومتری "سراسیاب" در شمالی‌ترین قسمت آبخوان، حدوداً در ابتدای ورود رودخانه رازآور به داخل محدوده آبخوان، و دو ایستگاه هیدرومتری "دوآب میرگ" و "خرس‌آباد" در محل ورود رودخانه قره‌سو به داخل محدوده آبخوان قرار دارند. از اطلاعات دبی ثبت



شکل ۴- موقعیت رودخانه‌ها در محدوده آبخوان دشت کرمانشاه

پوشش تغذیه سطحی

تغذیه آبخوان از نفوذ بارندگی و نفوذ آب آبیاری پارامترهایی هستند که نقش بسیار مهمی در موازنه آب‌های زیرزمینی دارند و شناسایی مقدار آنها برای بررسی منابع آب هر منطقه بسیار مهم می‌باشد. تا زمانی که مقدار تغذیه از آب آبیاری یا بارندگی به کمک تحقیقات صحرائی در نقاط مختلف اندازه‌گیری نشده باشد نمی‌توان رقم مشخص و دقیقی برای آن در نظر گرفت و تنها می‌توان با استفاده از رابطه (۱) مقداری برای آن تخمین زد و سپس این مقدار را در زمان واسنجی مدل تصحیح نمود. در منطقه مورد مطالعه هیچ‌گونه تحقیقاتی جهت تعیین مقدار تغذیه آبخوان از طریق آب آبیاری و بارندگی صورت نگرفته است. بنابراین جهت تخمین آن از رابطه زیر استفاده شد:

(رابطه ۱)

$$d = [(P - R_p) + (I_g - I_n - R_{irr} - L_t)] - [(\theta_{FC} - \theta_i)D]$$

که در آن؛ d عمق آب تغذیه‌کننده آبخوان از طریق آب

آبیاری و بارندگی (میلی‌متر)، P بارندگی (میلی‌متر)، R_p رواناب بارندگی (میلی‌متر)، I_g نیاز ناخالص آبیاری (میلی‌متر)، I_n نیاز خالص آبیاری (میلی‌متر)، R_{irr} رواناب کشاورزی (میلی‌متر)، L_t تلفات تبخیر از آب آبیاری (میلی‌متر)، θ_{FC} رطوبت ظرفیت زراعی (اعشاری)، θ_i رطوبت اولیه (اعشاری) و D عمق سطح ایستابی از سطح زمین (میلی‌متر) می‌باشد.

رابطه (۱) از دو عبارت تشکیل شده است. عبارت اول، مقداری از آب بارندگی و آبیاری که در خاک نفوذ می‌کند را محاسبه می‌کند. عبارت دوم، عمق آب لازم برای اینکه عمق D به رطوبت ظرفیت زراعی برسد را محاسبه می‌کند. بدیهی است که تفاضل این دو مقدار، برابر با عمق آب تغذیه‌کننده آبخوان خواهد بود. در نهایت، مقدار خالص آب نفوذ یافته به آبخوان از طریق بارندگی و آبیاری، با انجام محاسبات مربوطه و نیز با مدنظر قرار دادن نقشه کاربری اراضی، نقشه خاکشناسی و پلیگون‌های تیسن ایستگاه‌های بارندگی، جهت تعیین محدوده-

های تغذیه سطحی، تعیین شد.

پوشش تبخیر از آب زیرزمینی

اگر سطح آب زیرزمینی از حدی بالاتر رود و به سطح زمین نزدیک تر شود تحت تأثیر تشعشعات خورشیدی، بخشی از آن تبخیر می‌گردد. برای شبیه‌سازی نواحی با عمق کمتر از ۴ متر در مدل مفهومی آبخوان تعریف شده در نرم‌افزار GMS، ابتدا نقشه رستری عمق آب زیرزمینی در محدوده مورد نظر با استفاده از اطلاعات پیژومتری، در محیط نرم‌افزار GIS و برای هر یک از ماه‌های دوره شبیه‌سازی، به صورت مجزا ترسیم شد. سپس نواحی با عمق کمتر از ۴ متر، برای هر یک از ماه‌های دوره شبیه‌سازی تعیین شد. این نواحی به عنوان محدوده‌هایی که آب زیرزمینی به علت عمق کم، تبخیر می‌شود، در مدل مفهومی آبخوان فراخوانی و تعریف شد.

پوشش شرایط مرزی

یکی از مهم‌ترین مراحل ساخت مدل آب زیرزمینی، شناخت درست مرزها و اعمال شرایط مرزی می‌باشد. شرایط مرزی سفره‌های آب زیرزمینی در مدل MODFLOW به صورت‌های مختلف شامل: ناتراوا^۱، با بار ثابت^۲، با بار عمومی^۳، با بار

مشخص^۴، با حجم جریان مشخص^۵ شبیه‌سازی می‌شود. مرزهای شبیه‌سازی شده در این تحقیق شامل مرز ناتراوا و مرز بار عمومی هستند.

پوشش شبکه آبیاری و زهکشی

محدوده شبکه آبیاری و زهکشی تحت پوشش سد گاوشان در غرب کشور، شامل دو دشت بيله‌ور و میان‌دریند می‌باشد. بخشی از شبکه که مربوط به دشت میان‌دریند است درون مرز آبخوان دشت کرمانشاه قرار می‌گیرد و بایستی به عنوان یکی از مؤلفه‌های مؤثر در بیان آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه، در مدل تعریف شود. شبکه آبیاری و زهکشی میان‌دریند، سطحی معادل آنچه در شکل (۵) نشان داده شده است را شامل می‌شود. از آنجا که راه‌اندازی شبکه آبیاری و زهکشی میان‌دریند در سال آبی ۹۰-۹۱ در بخش شمالی محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، سبب ایجاد شرایط جدیدی در مؤلفه‌های بیان منابع آب در این محدوده شده است لذا مدل‌سازی نیز برای سال‌های پس از راه‌اندازی شبکه صورت گرفت. بر این اساس، با استفاده از اطلاعات مربوط به دبی آب تحویلی به شبکه میان‌دریند، میزان تغذیه سطحی در این محدوده، محاسبه و در مدل مفهومی آبخوان به صورت یک پوشش مجزا تعریف شد.

4. Specified Head
5. Specified Flow

1. No Flow
2. Constant Head
3. General Head



شکل ۵- محدوده تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی میان‌دریند

پوشش پیزومترها

پس از بررسی محل قرارگیری پیزومترها در محدوده مطالعاتی کرمانشاه و همچنین حذف پیزومترهایی که هیچ داده ثبت شده‌ای در سال‌های شبیه‌سازی نداشتند، تعداد ۶۰ حلقه پیزومتر مورد بررسی قرار گرفتند. جانمایی پیزومترها در محدوده آبخوان نشان داد که که پراکندگی پیزومترها در سطح منطقه، پوشش خوبی را ایجاد کرده است.

پوشش هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه

در محدوده آبخوان دشت کرمانشاه تعداد ۱۰ حلقه چاه اکتشافی حفاری شده است اما تغییرات ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان در نقاط مختلف آن بسیار بیشتر از آن است که صرفاً با داشتن اطلاعات ۱۰ نقطه از آبخوان، بتوان شناخت کامل و درستی از ویژگی‌ها و رفتار آبخوان داشت. نتایج حفاری ۱۰ حلقه چاه اکتشافی در محدوده مورد مطالعه، در جدول (۱) و موقعیت آنها در محدوده آبخوان در شکل (۶) ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود برخی از چاه‌های اکتشافی، فاقد اطلاعات مورد نیاز می‌باشند. در این تحقیق، در مرحله اول، برای تعیین محدوده‌ها و مقادیر تقریبی هدایت هیدرولیکی، مدل مفهومی آبخوان برای شرایط جریان ماندگار تعریف و واسنجی شد. محدوده پلیگون‌های هدایت هیدرولیکی در ابتدا با استفاده از تلفیق نقشه‌های تراز آب زیرزمینی، کاربری اراضی، پلیگون‌های تیسن پیزومترها و نقشه خاک‌شناسی منطقه تعیین شدند و سپس در حین واسنجی مدل، برخی از این پلیگون‌ها اصلاح شدند. توجه به این مسئله ضروری است که مقادیر و محدوده‌های تعیین شده در شرایط جریان ماندگار، با شرایط واقعی آبخوان که جریان غیر ماندگار در آن برقرار است مطابقت کامل ندارند و صرفاً به عنوان یک حدود تقریبی و حدس اولیه برای تعریف جریان غیر ماندگار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مرحله بعد، مدل جریان غیر ماندگار تهیه شد و مقادیر و محدوده‌های به دست آمده در حالت جریان ماندگار، در حین واسنجی مدل و با انجام سعی و خطا تصحیح شدند. در نهایت، جهت اطمینان از صحت عملیات و نتایج به دست آمده، مدل جریان غیر ماندگار در دوره‌ای خارج از دوره شبیه‌سازی، صحت‌سنجی شد.

مدل جریان ماندگار

برای تهیه مدل جریان ماندگار، نخست باید ماه مبنا تعیین گردد. ماه مبنا محاسبات جریان ماندگار، ماهی است که از بین تمام ماه‌های دوره شبیه‌سازی، کمترین اختلاف تراز سطح ایستابی را با ماه قبل از خود داشته باشد. به عبارت دیگر، در ماه

مبنای محاسبات جریان ماندگار، میزان ورودی و خروجی مخزن آب زیرزمینی تقریباً یکسان است و لذا تفاوت چندانی در تراز آب زیرزمینی ایجاد نمی‌شود. برای تعیین ماه مبنا محاسبات جریان ماندگار، ابتدا هیدروگراف معرف آبخوان ترسیم شد. آنجا که سال‌های پس از راه‌اندازی شبکه آبیاری و زهکشی میاندریند برای مدل‌سازی مد نظر قرار داشت لذا مقادیر تراز سطح ایستابی در ماه‌های سه سال آبی ۹۲-۹۱، ۹۳-۹۲ و ۹۴-۹۳ مورد بررسی قرار گرفتند. بر این اساس، از آنجا که تراز آب زیرزمینی در ماه شهریور سال ۱۳۹۳ کمترین اختلاف را با تراز ماه قبل از خود داشت لذا همین ماه به عنوان ماه مبنا برای انجام محاسبات جریان ماندگار انتخاب شد.

جدول ۱- نتایج حفاری ۱۰ حلقه چاه اکتشافی در محدوده مطالعاتی

شماره	نام چاه اکتشافی	قابلیت انتقال (m ² /d)	آبدهی ویژه
۱	سرتیپ آباد	۱۰۰۰۰	-
۲	هشیلان	۱۲۰۰	۰/۴
۳	احمدآباد پایین	۱۷۵۰	-
۴	تپه افشار	-	-
۵	احمدوند	۶۰۷	۰/۰۲۵
۶	نظرآباد علیا	۷۵۰	۰/۰۳
۷	کوربلاغ	-	-
۸	تنوردول	۱۵۰	-
۹	پیرحیاتی	۱۵۷۰	-
۱۰	ده پهن	۱۰۰۰	-

مدل جریان غیر ماندگار

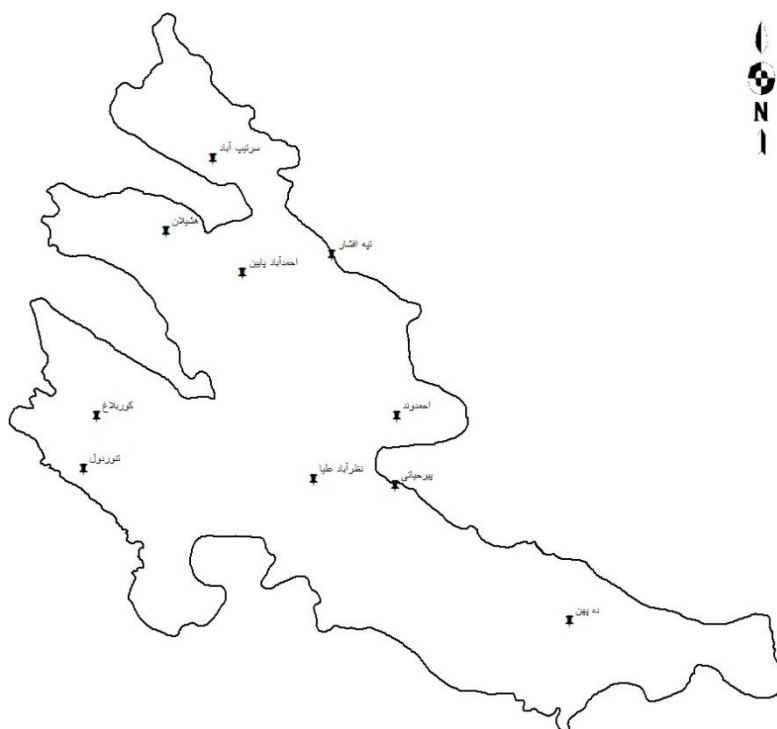
سطح آب زیرزمینی با گذشت زمان، دارای نوساناتی است که در واقع سبب ایجاد جریان غیر ماندگار می‌شود. برای شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار، باید طول دوره زمانی شبیه‌سازی مدل که خود به چند دوره تنش تقسیم می‌شود تعیین گردد. در این تحقیق، برای شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار، داده‌های سال آبی ۹۳-۹۴ که دارای ۱۲ دوره تنش یک ماهه (گام زمانی یک ماه) هستند مورد استفاده قرار گرفتند. با انجام واسنجی مدل در حالت جریان غیر ماندگار، محدوده‌ها و مقادیر ضرایب هیدرودینامیک آبخوان و همچنین محدوده‌ها و مقادیر تغذیه سطحی در نقاط مختلف آبخوان که قبلاً در مدل ماندگار تعیین شده بودند اصلاح شدند.

صحت‌سنجی مدل

مدل واسنجی شده در حالت جریان غیر ماندگار، در خارج از دوره واسنجی، صحت سنجی شد. روش معمول در صحت سنجی، اجرای مدل با مجموعه داده‌هایی است که در واسنجی

۹۲-۹۳، به‌طور جداگانه برای هر سال آبی، مورد بررسی قرار گرفتند.

مدل مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. در این تحقیق، به‌منظور صحت سنجی مدل، ۱۲ ماه سال آبی ۹۲-۹۱ و ۱۲ ماه سال آبی



شکل ۶- موقعیت چاه‌های اکتشافی در محدوده آبخوان دشت کرمانشاه

نتایج و بحث

ضریب تعیین

نتایج مقایسه مقادیر سطح ایستابی محاسبه شده توسط مدل با مقادیر سطح ایستابی مشاهداتی پیژومترها در طول دوره شبیه‌سازی نشان داد که برای هر یک از ماه‌های دوره شبیه‌سازی به طور مجزا، ضریب R^2 از مقدار بالایی برخوردار است که همواره حدود ۰/۹۹ می‌باشد. اما این مسئله لزوماً در خصوص ضریب R^2 برای هر پیژومتر خاص در طول دوره شبیه‌سازی صادق نمی‌باشد و ضریب R^2 برای برخی از پیژومترها در طول دوره شبیه‌سازی، مقادیر حدود ۰/۵ تا ۰/۷ را نیز داراست. به عنوان مثال پیژومترهای شماره ۲، ۵ و ۷ دارای ضریب R^2 بیش از ۰/۹ هستند در صورتی که پیژومترهای شماره ۱۰، ۱۵ و ۱۸ دارای ضریب R^2 حدود ۰/۸ و پیژومترهای ۴، ۱۴ و ۲۰ دارای ضریب R^2 حدود ۰/۶ می‌باشند. برای مقایسه کلی نتایج به دست آمده از مدل با شرایط واقعی آبخوان بهتر است مقادیر سطح ایستابی محاسباتی توسط مدل و مشاهداتی در پیژومترها از طریق مقایسه ارقام هیدروگراف معرف آبخوان در دو حالت محاسباتی و مشاهداتی صورت گیرد. شکل‌های (۷)، (۸) و (۹) مقادیر تراز سطح ایستابی مشاهداتی در پیژومترها را در برابر مقادیر تراز

سطح ایستابی محاسبه شده توسط مدل در سه سال آبی ۹۲-۹۱، ۹۳-۹۲ و ۹۴-۹۳ نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که مقادیر ارائه شده در این شکل‌ها مقادیر سطح ایستابی معرف آبخوان که نماینده وضعیت سطح ایستابی کل پیژومترها با اختصاص ضریب وزنی آنهاست می‌باشد. مشاهده می‌شود که ضریب تعیین برای این سه سال به ترتیب حدود ۰/۹۶، ۰/۹۲ و ۰/۹۷ می‌باشد که نشان‌دهنده آن است که مدل قادر است شرایط طبیعی آبخوان را به خوبی شبیه‌سازی نماید.

ریشه میانگین مربعات خطا

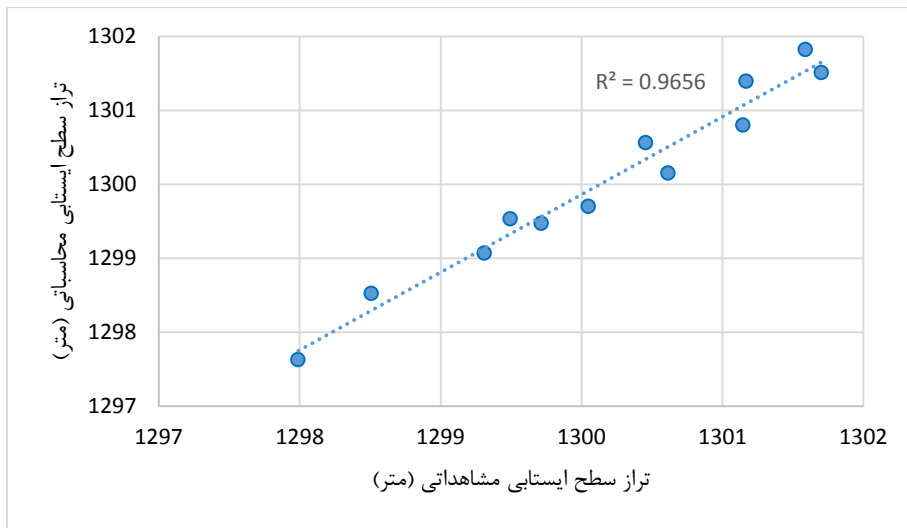
نتایج نشان داد مقدار ریشه میانگین مربعات خطا در طول دوره شبیه‌سازی همواره کمتر از یک است که نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل برای شبیه‌سازی وضعیت آبخوان می‌باشد. مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا در طول دوره شبیه‌سازی برای هر یک از سه سال آبی ۹۲-۹۱، ۹۳-۹۲ و ۹۴-۹۳ در شکل‌های (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) ارائه شده است.

مقادیر و محدوده‌های ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان

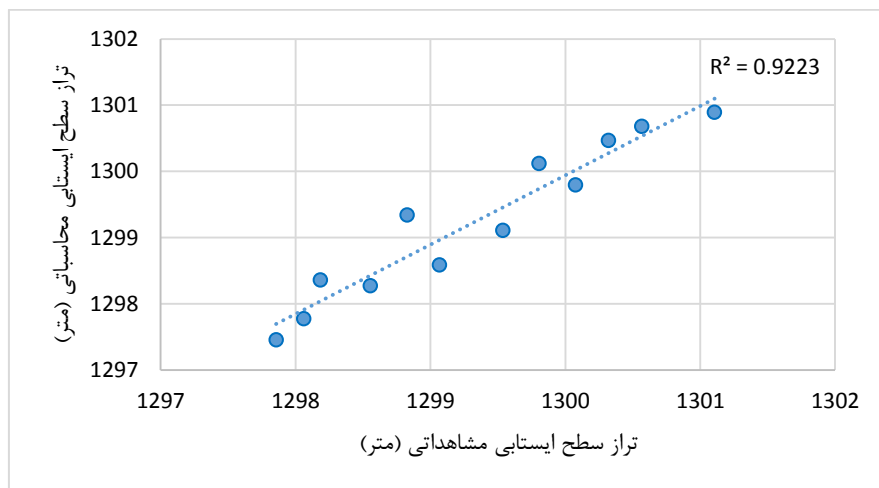
بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار هدایت هیدرولیکی در محدوده آبخوان دشت کرمانشاه از ۰/۱ تا ۳۰ متر در روز متغیر است. جدول (۲)، درصد مساحت تحت پوشش بازه‌های هدایت

هیدرولیکی ۰/۱ تا ۵ متر در روز می‌باشد و تنها بخش کوچکی از آن (۲/۲۳٪) دارای مقادیر ۲۵ تا ۳۰ متر در روز می‌باشد.

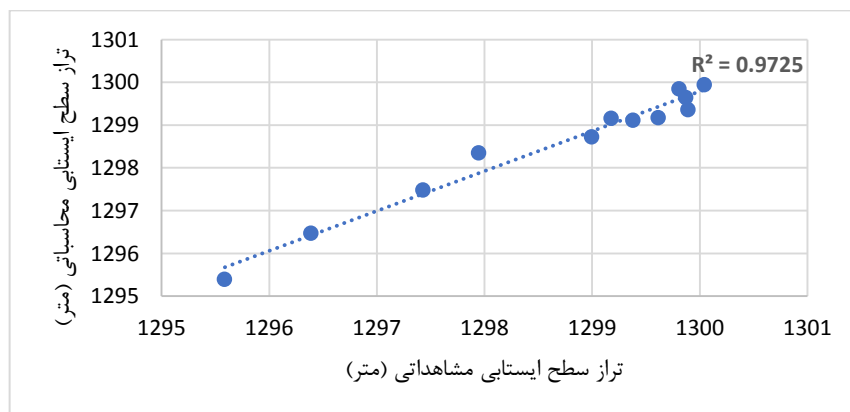
هیدرولیکی را نشان می‌دهد. نتایج ارائه شده در این جدول نشان می‌دهند که بخش اعظم آبخوان (۷۷/۱۶٪) دارای هدایت



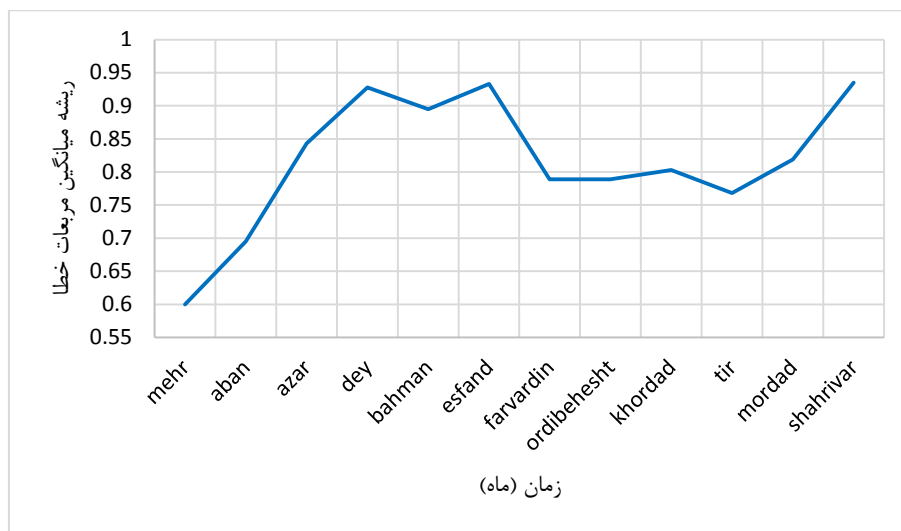
شکل ۷- مقادیر تراز مشاهداتی در پیزومترها در مقابل تراز محاسباتی توسط مدل (سال آبی ۹۲-۹۱)



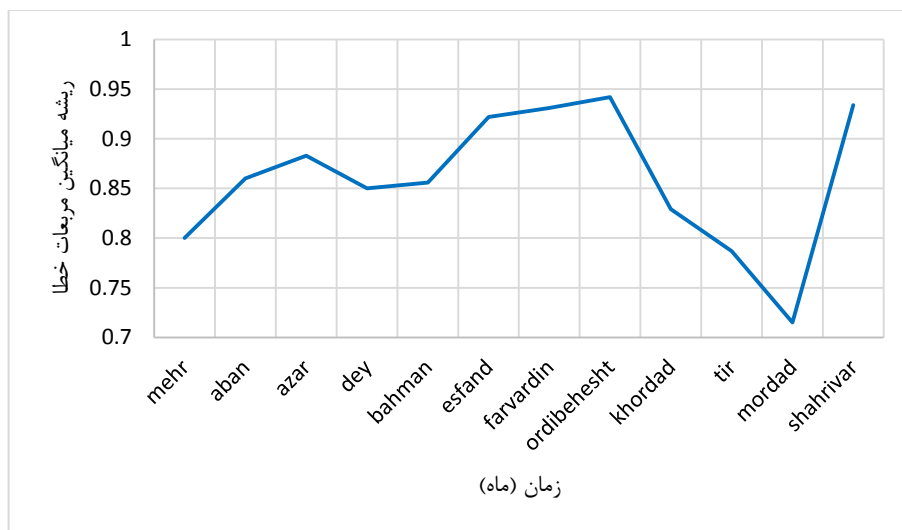
شکل ۸- مقادیر تراز مشاهداتی در پیزومترها در مقابل تراز محاسباتی توسط مدل (سال آبی ۹۳-۹۲)



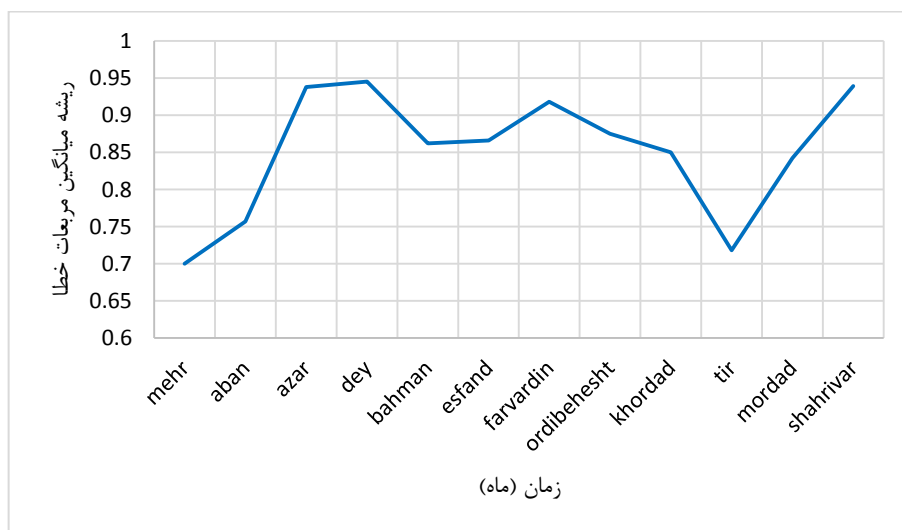
شکل ۹- مقادیر تراز مشاهداتی در پیزومترها در مقابل تراز محاسباتی توسط مدل (سال آبی ۹۴-۹۳)



شکل ۱۰- نمودار تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا در سال آبی ۹۱-۹۲



شکل ۱۱- نمودار تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا در سال آبی ۹۲-۹۳



شکل ۱۲- نمودار تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا در سال آبی ۹۳-۹۴

به سایر ماه‌ها باشد. ماه مبنای محاسبات جریان ماندگار، ماهی است که بین تغذیه و تخلیه آبخوان تعادل برقرار باشد. به عبارت دیگر، ماه جریان ماندگار، ماهی است که از بین تمام ماه‌های دوره شبیه‌سازی، کمترین اختلاف تراز سطح ایستابی را با ماه قبل از خود داشته باشد. انتخاب ماه جریان ماندگار، بر مقادیر هدایت هیدرولیکی آبخوان و به تبع آن بر مقادیر آبدهی ویژه آبخوان که در حین واسنجی مدل در حالت جریان ماندگار و غیر ماندگار به دست می‌آیند مؤثر است. نتایج حاصل از پژوهش انجام گرفته توسط این محققین نشان داده است که مقدار هدایت هیدرولیکی در محدوده آبخوان میاندربند، بین ۰/۰۱ تا ۲ متر در روز و مقدار آبدهی ویژه نیز ۲/۲ درصد است. در صورتی که بر اساس نتایج مطالعات اکتشافی انجام گرفته در این محدوده و همچنین نتایج حاصل از تحقیق حاضر، هدایت هیدرولیکی در بخش شمالی محدوده موردنظر (حوالی سرتیپ آباد) مقادیر ۱۰ تا ۳۰ متر در روز را به خود اختصاص می‌دهد و در سایر بخش‌ها نیز مقادیری بین ۰/۱ تا ۱۰ متر در روز را داراست. آبدهی ویژه نیز در قسمت شمال غربی محدوده موردنظر (اطراف تالاب هشیلان)، به حداکثر میزان آبدهی ویژه در یک آبخوان آزاد یعنی ۴۰ درصد نیز می‌رسد و در سایر بخش‌ها نیز مقادیری بین ۲ تا ۶ درصد را به خود اختصاص می‌دهد. لازم به ذکر است که در پژوهش انجام گرفته توسط این محققین، فقط یک ماه (فروردین ۱۳۸۷) برای صحت‌سنجی مدل مورد بررسی قرار گرفته است که کافی نمی‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعات منابع آب، ویژگی‌های آبخوان به کمک تعداد محدودی بررسی‌های اکتشافی برآورد می‌شود اما شناخت کامل یک آبخوان صرفاً از طریق این بررسی‌های محدود امکان‌پذیر نیست. از طرفی، انجام مطالعات اکتشافی بیشتر، مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی است و عملاً انجام نمی‌گیرد. از طریق مدل‌سازی می‌توان ویژگی‌های آبخوان از جمله مهم‌ترین آنها یعنی ضرایب هیدرودینامیک را که در بررسی‌های اکتشافی صرفاً به‌صورت نقطه‌ای و اغلب بسیار محدود تعیین شده‌اند، در کل محدوده آبخوان تعیین نمود. در این مطالعه، مدل‌سازی آب زیرزمینی به‌منظور تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان آزاد دشت کرمانشاه با استفاده از نرم‌افزار GMS 7.1 صورت گرفت. پس از تهیه مدل مفهومی آبخوان مورد مطالعه، واسنجی مدل برای حالت جریان ماندگار (شهریور ۱۳۹۳) و پس از آن جریان غیر ماندگار (۱۲ ماه سال آبی ۹۴-۱۳۹۳) انجام گرفت. سپس جهت اطمینان از صحت نتایج به دست آمده، مدل در دوره‌ای

جدول ۲- درصد مساحت تحت پوشش بازه‌های هدایت هیدرولیکی

محدوده هدایت هیدرولیکی (m/d)	مساحت تحت پوشش (%)
۰/۱-۵	۷۷/۱۶
۵-۱۰	۱۴/۴۳
۱۰-۱۵	۰/۹۲
۱۵-۲۰	۵/۲۶
۲۰-۲۵	۰
۲۵-۳۰	۲/۲۳

همچنین نتایج نشان داد مقدار آبدهی ویژه در محدوده آبخوان دشت کرمانشاه، از ۰/۰۲ تا ۰/۴ متغیر است. جدول (۳)، درصد مساحت تحت پوشش بازه‌های آبدهی ویژه را نشان می‌دهد. نتایج ارائه شده در این جدول نشان می‌دهند که بخش اعظم آبخوان (۷۵/۷۸٪) دارای آبدهی ویژه ۰/۰۲ تا ۰/۰۵ می‌باشد. مقادیر بالای ۰/۳ تا ۰/۴ نیز مساحتی معادل ۱۵/۷٪ را به خود اختصاص می‌دهند.

جدول ۳- درصد مساحت تحت پوشش بازه‌های آبدهی ویژه

محدوده آبدهی ویژه	مساحت تحت پوشش (%)
۰/۰۲-۰/۰۵	۷۵/۷۸
۰/۰۵-۰/۱	۸/۴۲
۰/۱-۰/۲	۰
۰/۲-۰/۳	۰/۱
۰/۳-۰/۴	۱۵/۷

لازم به ذکر است که ارقام به دست آمده برای ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان، با مقادیر معلوم این پارامترها در محل لوگ‌های اکتشافی همخوانی دارد. همان‌طور که در قسمت مرور تحقیقات انجام گرفته در بخش مقدمه نیز مطرح گردید نتایج حاصل از تحقیق حاضر با نتایج حاصل از تحقیق Ghobadian *et al.* (2014) مطابقت ندارد. این محققین، کل آبخوان دشت کرمانشاه را به‌صورت یکپارچه مورد بررسی قرار نداده‌اند و فقط بخشی از آبخوان دشت کرمانشاه که در محدوده میاندربند قرار می‌گیرد را مدل‌سازی کرده‌اند. با بررسی تحقیق انجام شده توسط این محققین، به نظر می‌رسد شیوه انجام تحقیق و نتایج به دست آمده از آن قابل قبول نباشد. این محققین، واسنجی مدل در حالت ماندگار را برای فروردین ۱۳۸۵ انجام داده‌اند و دلیل انتخاب این ماه را بالاتر بودن تراز آب زیرزمینی نسبت به سایر ماه‌ها عنوان کرده‌اند. بدیهی است انتخاب ماه جریان ماندگار نباید براساس معیار بالاتر بودن تراز آب زیرزمینی نسبت

آمده از این تحقیق، مقدار هدایت هیدرولیکی در محدوده آبخوان دشت کرمانشاه، از ۰/۱ تا ۳۰ متر در روز و مقدار آبدهی ویژه، از ۰/۰۲ تا ۰/۴ متغیر است. این مقادیر، با مقادیر معلوم این پارامترها در محل چاه‌های اکتشافی همخوانی دارد. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، مدل‌سازی آب زیرزمینی روشی کارا و مفید برای تعیین مقادیر و محدوده‌های ضرایب هیدرودینامیک آبخوان در مناطقی است که مطالعات اکتشافی اندک و یا ناقصی در آنها صورت گرفته است.

غیر از دوره شبیه‌سازی (۲۴ ماه سال‌های آبی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲) صحت‌سنجی شد. مقادیر ضریب R^2 به دست آمده در این تحقیق، حاکی از همبستگی بالای مقادیر سطح ایستابی محاسبه شده توسط مدل و مقادیر سطح ایستابی مشاهداتی پیژومترها می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد مقدار ریشه میانگین مربعات خطا در طول دوره شبیه‌سازی (۳۶ ماه) همواره کمتر از یک است که نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل برای شبیه‌سازی وضعیت آبخوان می‌باشد. بر اساس نتایج به دست

REFERENCES

- Abareshi, F., Meftah Holghi, M., Dehghani, A. A., Kaboli, A. and Rahimian, M. (2013) Optimization of hydrodynamic coefficients of Zarin Gol plain aquifer using mathematical model. *The first conference of practical geochemistry of Iran*, 27-28 August, Damghan University, Iran, 571-576 (In Farsi)
- Abedi Koupai, J. and Golabchian, M. (2015) Estimation of hydrodynamic coefficients of groundwater resources in Kouhpayeh-Segzi watershed using MODFLOW. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 19(72), 281-292. (In Farsi)
- Bijani, M., Moridi, A. and Majdzadeh Tabatabaie, M. R. (2017) Investigation of well deepening effects on aquifer yield using mathematical model. *Journal of Iran-Water Resources Research*, 12(4), 83-92. (In Farsi)
- Ghobadian, R., Fattahi Choghabagi, A. and Zare, M. (2014). effect of irrigation and drainage network of Gavshan dam on groundwater resources of Mian Darband plain using GMS 6.5 model. *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(4), 759-772. (In Farsi)
- Ketabchi, H., Nikkhah, R. and Morid, S. (2018) Numerical simulation of Namdan aquifer in the Fars province of Iran: Assessment of green water management impacts on the aquifer restoration. *Journal of Iran-Water Resources Research*, Online publication (In Farsi)
- Ministry of Energy Publication (2014) Instructions for selecting statistics and data requirements to provide quantitative and qualitative groundwater models. Publication No. 417-a (In Farsi)
- Nakhaei, M., Mohammadi, Kh. and Rezaei, H. (2014) Optimizing of aquifer withdrawal numerical model using genetic algorithm (Case study: Uromiyeh coastal aquifer). *Journal of Iran-Water Resources Research*, 10(2), 94-97. (In Farsi)
- Rahnama, MB., Rezaei Estakhrooye, A. and Ghazizadeh, M. (2016) Groundwater resources management of Rafsanjan plain using Visual MODFLOW software. *Journal of Practical Researches of Water Science*, 2(3), 1-12. (In Farsi)