

امکان سنجی احداث سد زیرزمینی در دشت قلعه خواجه خوزستان با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS

منوچهر چیت‌سازان^۱، فاطمه بتوندی غلامپور^{۱*} و حمیدرضا ماجدی^۲

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- مدیریت فنی و مهندسی سازمان آب و برق خوزستان

نویسنده مسئول: *f.batvandi@yahoo.com

دریافت: ۹۲/۱۱/۲۹ پذیرش: ۹۳/۷/۲۶

چکیده

استان خوزستان با داشتن آب و زمین فراوان یکی از استان‌های حاصل‌خیز از لحاظ کشاورزی است. کشاورزان به صورت انفرادی منابع آب و خاک را برای مقاصد اقتصادی کوتاه مدت سامان‌دهی نموده‌اند. اما هیچ‌گونه برنامه دراز مدتی برای بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی وجود ندارد. این مقاله نتیجه مدل ریاضی است که برای دشت قلعه خواجه در استان خوزستان با استفاده از روش مدل‌سازی مفهومی تهیه شده است. به همین منظور برنامه مدل‌سازی *GMS7.1* که در برگزیده کد *MODFLOW, 2000* می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت. برای مدل‌سازی پوشش ورودی و خروجی، پوشش تغذیه، پوشش پمپاژ، و پوشش خاک در مدل مفهومی برنامه مورد ملاحظه قرار گرفت. مدل برای دوره مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۰ در حالت ناماندگار طی ۱۲ دوره تنش کالیبره و پس از بهینه‌سازی پارامترهای هیدروژئولوژیکی (مدل‌سازی معکوس)، برای دوره زمانی از مهر ۱۳۹۰ تا اسفند ۱۳۹۰ صحت‌سنجی شد. نتایج مدل مذکور برای شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه، رهنمودهایی برای مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی آتی فراهم نموده است. گزینه‌های انتخابی مدیریت منابع آب برای منطقه مورد مطالعه به کمک مدل جریان مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس برای غلبه بر کمبود آب در منطقه مورد مطالعه، امکان‌سنجی احداث سد زیرزمینی بررسی گردید. پس از انتخاب پارامترهای موثر بر انتخاب محل سد، این پارامترها با ساخت لایه‌های مربوط به کمک *GIS* در دشت مورد بررسی قرار گرفتند و مکان‌های مناسب توسط روش هم‌پوشانی در محیط *GIS* مشخص گردیدند. آنگاه بر اساس شبیه‌سازی مدل جریان آب‌های زیرزمینی دشت، بهترین مکان برای سد زیرزمینی انتخاب گردید. سپس مدل برای شرایط خشکسالی و احداث سد زیرزمینی پیشنهادی اجرا شد. این تحقیق نشان می‌دهد که احداث سد زیرزمینی راهکاری مفید برای افزایش قابل‌ملاحظه ذخیره موجود آبخوان و کاهش بیلان منفی دشت قلعه خواجه در اثر خشکسالی است.

واژه‌های کلیدی: خوزستان، قلعه خواجه، مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی، مدیریت، سد زیرزمینی

مقدمه

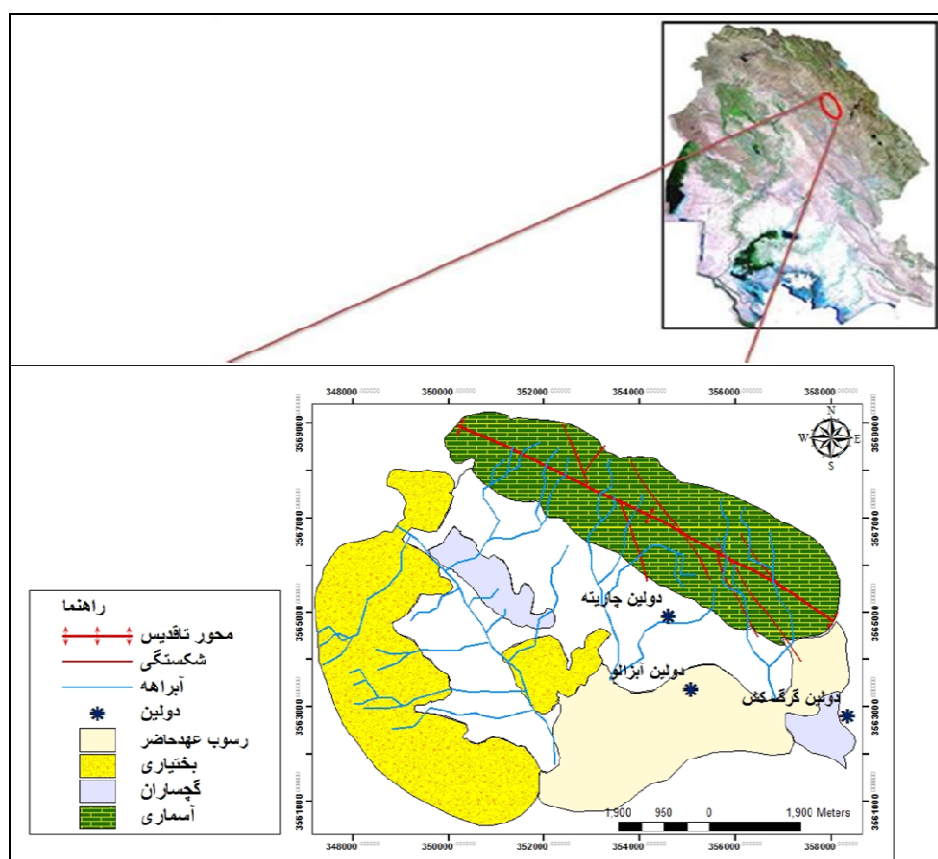
جنوب‌شرقی است. بلندترین نقطه محدوده مورد نظر دارای ارتفاع ۸۴۰ متر و پست‌ترین نقطه دارای ارتفاع ۷۱۰ متر است.

افراد زیادی در ایران و کشورهای مختلف با استفاده از مدل‌های ریاضی به عنوان ابزارهای توانمند توصیف آبخوان، به بررسی وضعیت آبخوان‌ها پرداخته‌اند. [۷] از مدل ریاضی و مدل‌های عددی برای مدل‌سازی آب زیرزمینی استفاده نمودند. در این مقالات توسعه مدل ریاضی و معادله حاکم بر جریان سیال، انتقال حرارت، انتقال گرما و نشست زمین بررسی شده‌اند. علاوه بر این به شرح معادله تفاضل محدود، عناصر محدود، شرایط و حل ماتریس نیز پرداخته‌اند. [۱۱، ۱۲ و ۹] در تحقیقات خود از مدل جهت تفسیر آبخوان استفاده نموده‌اند.

دشت قلعه‌خواجه در شمال‌شرقی استان خوزستان قرار دارد. این دشت با مساحت تقریبی ۲۲ کیلومترمربع بین طول‌های جغرافیایی $23^{\circ} 49'$ تا $29^{\circ} 49'$ و عرض جغرافیایی $14^{\circ} 32'$ تا $10^{\circ} 32'$ قرار دارد. آبخوان دشت از شمال و شمال‌شرقی به تاق‌دیس پایده (آهک آسماری)، از غرب به کنگلومرای بختیاری و از شرق و جنوب‌شرقی به سازند گچساران و رسوبات عهد حاضر ختم می‌شود. شمال غرب منطقه دارای رخنمون محلی از سازند گچساران در قسمت میانی دشت می‌باشد (شکل ۱). طبق داده‌های باران‌سنجی ایستگاه اندیکا، میانگین بارندگی سالانه منطقه ۵۳۹.۶ میلی‌متر است. جهت کلی جریان آب زیرزمینی منطقه از سمت شمال و شمال‌شرق به سمت جنوب و

کیلومتر مربع در مرحله شناخت و حدود ۸۰ آبخوان با مساحتی در حدود ۲۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع در مرحله نیمه تفصیلی مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعات بیش‌تر از روش تفاضلات محدود و چند مورد از روش برنامه‌نویسی پویا استفاده شده است [۶]. هدف اولیه در مدل‌سازی کمی آب‌های زیرزمینی تعیین و تصحیح پارامترهای هیدرودینامیک آبخوان و هدف نهایی مدل‌سازی کمی شبیه‌سازی شرایط مختلف با اجرای سناریوهای گوناگون و بررسی پاسخ آبخوان به این شرایط است که منجر به ارائه راهکارهای مدیریتی برای تصمیم‌گیران می‌شود [۳]. افراد زیادی از مدل به عنوان یک راهبرد مدیریتی استفاده کردند، به طور مثال، اورنگ [۱] امکان‌سنجی و تاثیر سد زیرزمینی را در دشت گلگیر با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود مورد بررسی قرار داد. [۸] مدیریت بهره‌بردار از سد زیرزمینی سنگانه را با استفاده از مدل ریاضی انجام دادند.

Harbaugh و McDonald از محققین سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS) کد کامپیوتری MODFLOW را عرضه نموده‌اند. Anderson و Woessner کتابی را در زمینه مدل ریاضی آب زیرزمینی ارائه کردند که در آن به مراحل مدل‌سازی استاندارد پرداخته‌اند و یک کتاب کاربردی در زمینه مدل ریاضی کمی و کیفی آب زیرزمینی می‌باشد. مدل‌سازی در ایران با مدل‌های فیزیکی در اواخر دهه چهل و اوایل دهه پنجاه با همکاری کارشناسان داخلی و خارجی شروع شد. با راه یافتن رایانه‌های بدوی به ایران در دهه پنجاه شمسی، مدل‌های ریاضی جای مدل‌های فیزیکی را گرفتند و مدل‌های ریاضی تفاضلات محدود دو بعدی برای بررسی و شبیه‌سازی بعضی آبخوان‌ها به کار گرفته شدند. اولین مطالعه مدل‌سازی در ایران مربوط به مدل ریاضی دشت ورامین می‌باشد که در سال ۱۳۴۸ توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO)^۱ صورت گرفت. پس از آن تا سال ۱۳۶۰ نزدیک به ۲۰۰ آبخوان کشور با مساحتی حدود ۵۵۰۰۰۰



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

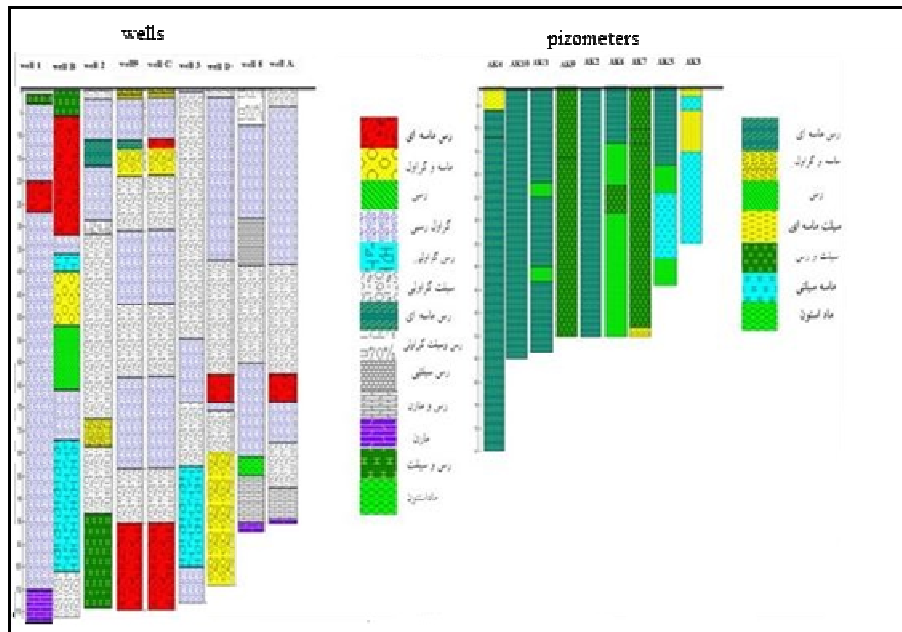
¹Food and Agriculture Organization

روش کار

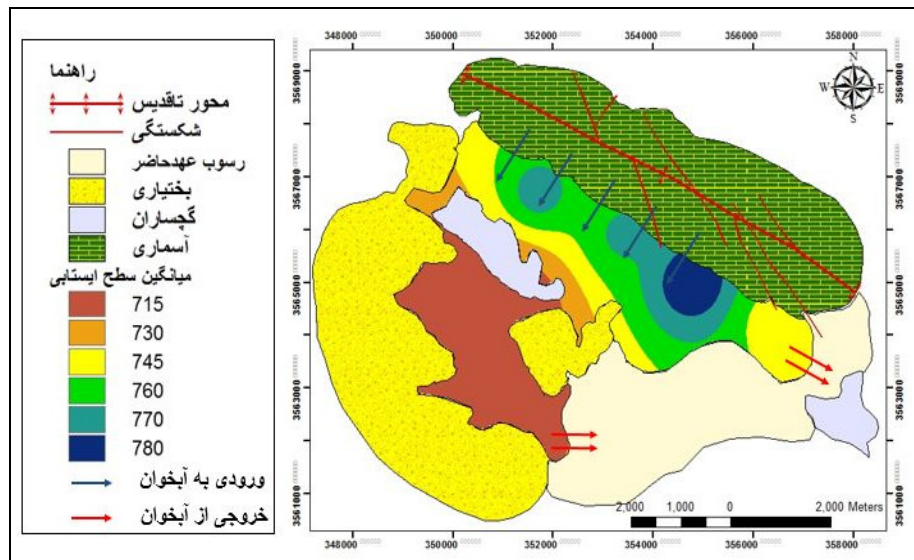
مدل مفهومی آبخوان

آبخوان دشت قلعه خواجه یک آبخوان آزاد ناهمگن است. تاقدیس پابده در نواحی شمالی و شمال شرقی منطقه قرار دارد که با توجه به شیب عمومی منطقه و جهت شکستگی های منطقه به عنوان عامل تغذیه کننده دشت محسوب می شود، بنابراین، مرزهای ورودی دشت در نواحی شمالی و شمال شرقی دشت قلعه خواجه قرار دارند. شیب عمومی منطقه از شمال و شمال شرقی به سمت جنوب و

جنوب شرقی است و شیب سطح ایستابی نیز تقریباً از آن تبعیت می کند. بر این اساس مرزهای خروجی در بخش های شرقی و جنوبی دشت می باشد. طبق داده های لاگ چاه ها و پیزومتر های منطقه (شکل ۲) جنس سنگ کف آبخوان در نواحی شمالی و شمال شرقی دشت شامل رس، سیلت و مارن سازند گچساران و در نواحی جنوبی شامل مواد فرسایش یافته حاصل از سازند بختیاری می باشد، که اندازه ذرات از شمال و شمال شرقی به سمت نواحی جنوبی افزایش می یابد (شکل ۳).



شکل ۲. لاگ پیزومترها و چاه‌های آبخوان دشت قلعه خواجه



شکل ۳. مدل مفهومی منطقه مورد مطالعه

شبکه‌بندی مدل و گسسته‌سازی زمانی

وسعت منطقه، محدوده مدل به ۴۲ ستون و ۵۶ ردیف از نوع مرکز شبکه‌ای با فاصله ردیفی و ستونی یکسان (۵۰۰ متر) که ایجاد ۱۱۴۵ سلول را می‌نماید، شبکه‌بندی گردید. سپس سلول‌های فعال و غیرفعال مشخص شده‌اند. در واقع به اندازه محدوده دشت، سلول‌های فعال تفکیک شده است. هم‌چنین دوره‌های تنش و طول دوره‌های مختلف برای مدل کمی آبخوان در جدول (۱) نشان داده شده است. تقسیمات زمانی ذکر شده برای تمام چاه‌های مشاهده‌ای، بهره‌برداری، شرایط مرزی (ورودی‌ها، خروجی‌ها و بارندگی) و تنش‌های موجود در دشت اعمال شده و در بسته‌های نرم افزاری مربوطه وارد گردید.

معادله ۱

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z h \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \pm w$$

جدول ۱. گام‌های زمانی دوره مدل‌سازی (واسنجی و صحت‌سنجی)

مدلسازی مرحله	دوره تنش (ماه)	مهر ۸۹	آبان ۸۹	آذر ۸۹	دی ۸۹	بهمن ۸۹	اسفند ۸۹	فروردین ۸۹	اردیبهشت ۸۹	خرداد ۸۹	تیر ۸۹	مرداد ۸۹	شهریور ۸۹	مهر ۹۰	آبان ۹۰	آذر ۹۰	دی ۹۰	بهمن ۹۰	اسفند ۹۰	
واسنجی	۱۲																			
صحت سنجی	۶																			

علت استفاده از مرز نوع^۱ GHB این است که برخلاف مرز با بار مشخص، سطح آب در این نوع مرز ثابت نمی‌باشد و ممکن است با رسیدن اثر استرس‌های داخلی به مرز، سطح آب تغییر نماید. دبی جریان ورودی یا خروجی با توجه به گرادیان هیدرولیکی در مرز و گذردهی سلول مرزی تغییر می‌نماید. از طرف دیگر به علت متغیر بودن سطح آب در این نوع مرزها حساسیت بارهای هیدرولیکی محاسباتی مدل به پارامتر مرزی نوع GHB کمتر از سایر مرزها است. بنابراین اگر فرضیات مرزی به کار رفته در مرز درست نباشد و یا در اثر رسیدن اثر استرس‌ها، مرزها رفتار غیر واقعی نشان‌دهند، نتایج مدل کمتر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت [۵]. در مدل جریان شرایط اولیه آبخوان یعنی بار هیدرولیکی گرہها در شروع دوره‌های زمانی مدل که جزء معلوم‌های معادلات بیلان بوده و باید شناخت کاملی نسبت به آن‌ها داشت. بدین منظور برای محاسبه بار هیدرولیکی اولیه گرہها، از نقشه سطح ایستابی مهر ماه ۱۳۸۹ استفاده گردید. در مدل سایر پارامترهای

مدل ریاضی دشت قلعه‌خواجه با مدل ریاضی تفاضل محدود تهیه شد، که با استفاده از معادله ۱ حل می‌گردد. که به معادله غیر خطی بوزینسک معروف است. k_x و k_y و k_z مؤلفه‌های تنسور هدایت هیدرولیکی، S_s ظرفیت ویژه و w مؤلفه تغذیه یا تخلیه‌کننده (به ترتیب با علامت مثبت یا منفی) آبخوان می‌باشند. با توجه به اینکه آبخوان دشت قلعه‌خواجه از نوع آزاد می‌باشد و $T_x = k_x h$ و $T_y = k_y h$ و $T_z = k_z h$ و T_x و T_y و T_z ضریب آبگذری و h ضخامت بخش اشباع) است. برای حل معادله مذکور از یک الگوریتم خاص استفاده می‌شود. با این اوصاف دشت قلعه‌خواجه بر اساس شرایط هیدروژئولوژیکی و داده‌های در دسترس و نیز شکل مرزهای آبخوان و

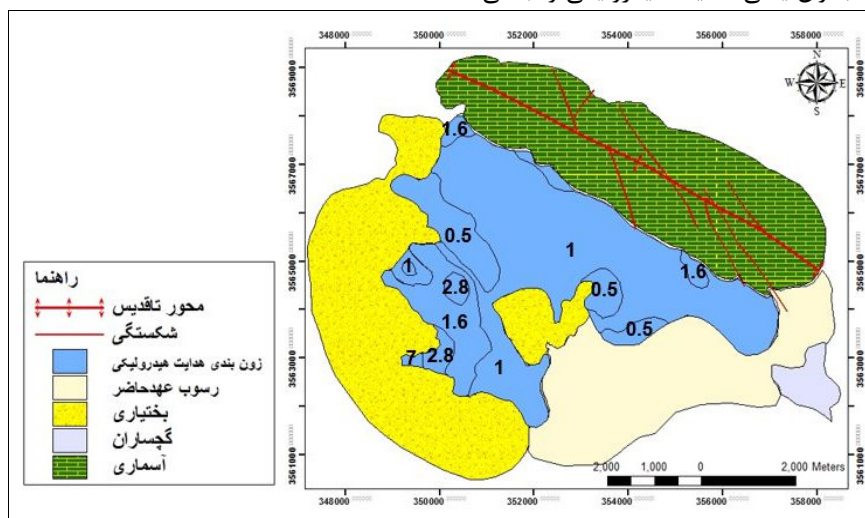
وضعیت هندسی مدل، شرایط مرزی مدل و شرایط اولیه

شکل هندسی آبخوان فضای هندسی است که بین سنگ کف و توپوگرافی سطح زمین و با توجه به شرایط مرزی ایجاد می‌گردد. با توجه به اینکه آبخوان مورد نظر از نوع آزاد است، لذا توپوگرافی سطح زمین در واقع سطح بالای آبخوان است. برای تهیه لایه سنگ کف، از مطالعات ژئوفیزیک و اندازه‌گیری‌های آن و تطبیق با ستون چینه‌شناسی چاه‌های موجود استفاده شد. مرزهای جانبی منطقه نیز با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی دشت قلعه‌خواجه تعیین گردید. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، در منطقه مورد نظر در قسمت‌هایی از دشت که تغذیه‌ای صورت نمی‌گرفت با توجه به خطوط تراز پیزومترها و نقشه‌های موجود، مرز فاقد جریان یا نفوذناپذیر در نظر گرفته شد. در قسمت‌های شمال و شمال‌شرقی (وجود تاقدیس پابده با آهک آسماری) و در نواحی جنوب و شرقی (سازند بختیاری) مرز با بار هیدرولیکی عمومی شبیه‌سازی گردید.

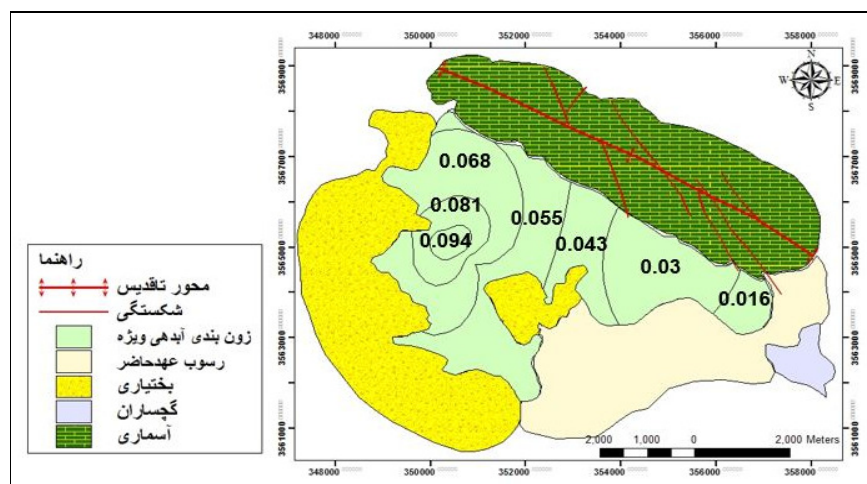
¹General Head Boundary

ویژه با توجه به نتایج آزمون پمپاژ، لاگ چاه‌ها و مطالعات ژئوفیزیکی تهیه و به صورت اولیه در اختیار نرم‌افزار قرار گرفتند (شکل‌های ۴ و ۵).

هیدروژئولوژیکی مثل برداشت از چاه‌ها و تغذیه بر اساس اطلاعات و آمار سازمان آب و برق منطقه‌ای خوزستان استخراج و وارد بسته مورد نظر گردید. ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان یعنی هدایت هیدرولیکی و آبدهی



شکل ۴. زون بندی اولیه هدایت هیدرولیکی و مقادیر مربوط به هر زون (m/day)

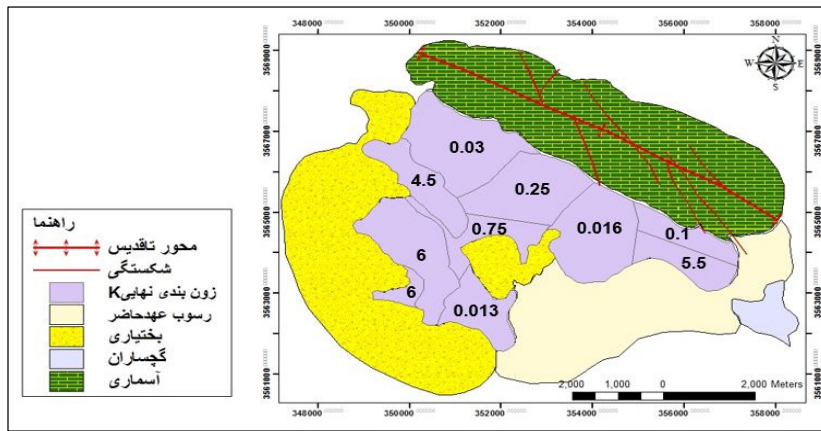


شکل ۵. زون بندی اولیه آبدهی ویژه و مقادیر مربوط به هر زون

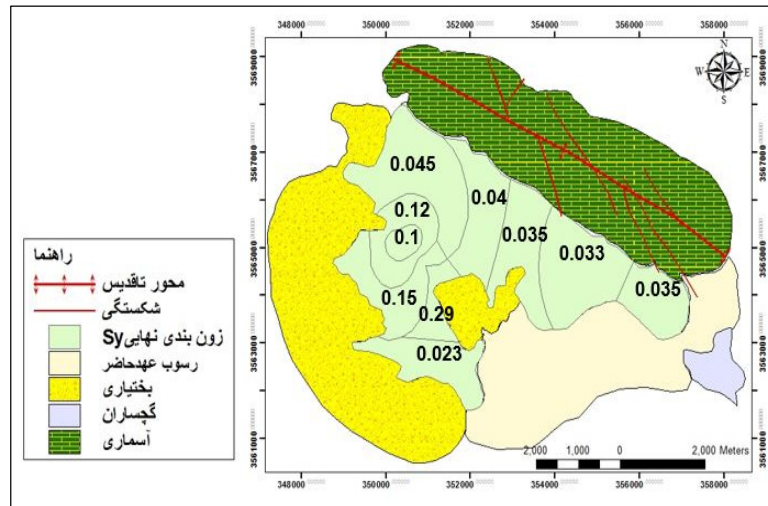
ماه ۱۳۹۰ الی اسفند ۱۳۹۰ مورد صحت‌سنجی قرار گرفتند. برآزش بسیار خوب بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در طول دوره ۶ ماهه نشانگر دقت و صحت مدل اجرا شده می‌باشد (جدول ۲). دقت مدل‌سازی و صحت‌سنجی با توجه به واریانس خطای مقادیر محاسباتی و مشاهداتی سنجیده شد. واریانس واسنجی مدل ۰/۳۲۷ و واریانس صحت‌سنجی ۰/۳۳۹ می‌باشد که نشان از دقت خوب واسنجی (کمتر از نیم متر) می‌باشد.

کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل

واسنجی مدل طی یک دوره یک ساله از مهر ۸۹ تا شهریور ۹۰ به صورت دستی و خودکار کالیبره شد [۲] و در طی آن منطقه بر اساس هدایت هیدرولیکی به نه زون و بر اساس آبدهی ویژه به ده زون تقسیم‌بندی گردید (شکل‌های ۶ و ۷). صحت‌سنجی در واقع آزمون ضرایب هیدرودینامیک K و Sy به دست آمده از واسنجی مدل است. برای اطمینان مدل ساخته شده در آبخوان دشت قلعه‌خواجه نتایج واسنجی دشت برای مدت ۶ ماه از مهر

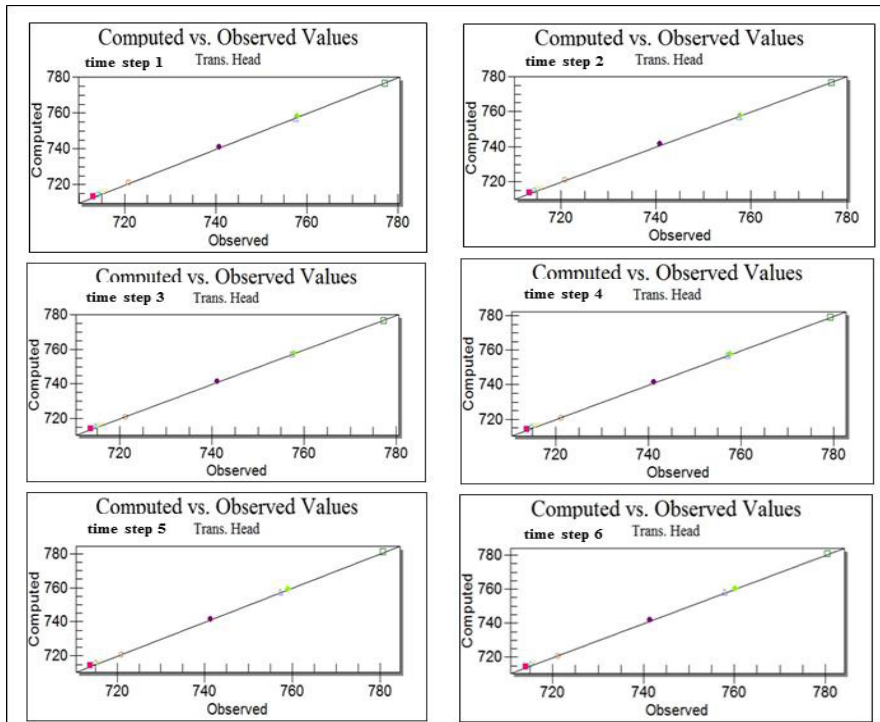


شکل ۶. زون بندی نهایی هدایت هیدرولیکی و مقادیر مربوط به هر زون (m/day)



شکل ۷. زون بندی نهایی آبدهی ویژه و مقادیر مربوط به هر زون

جدول ۲. انطباق بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در گام زمانی یکم تا ششم پس از کالیبراسیون



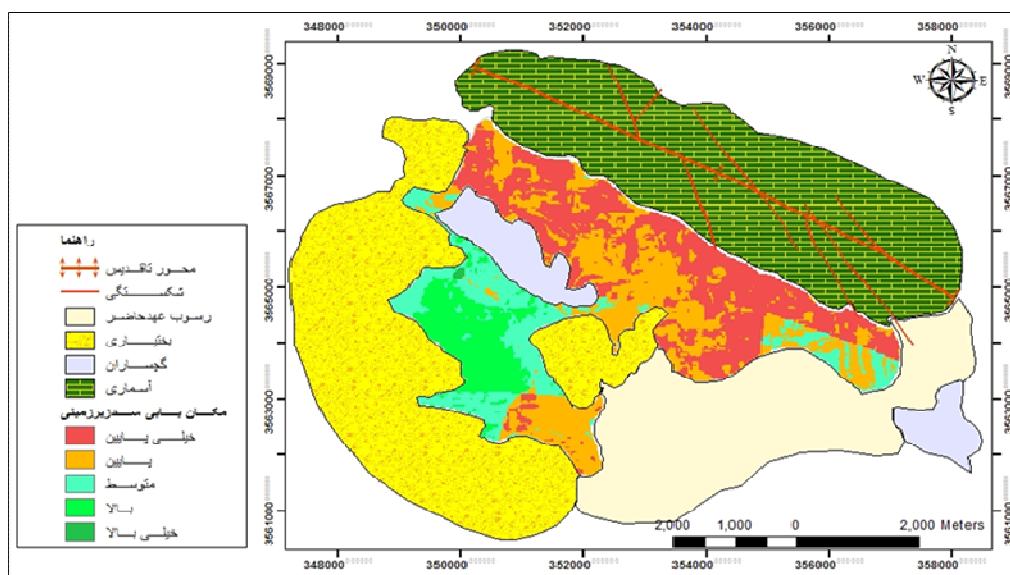
بحث

ارزش‌گذاری شدند و سپس با توجه به وزن لایه‌ها و از طریق منوی Raster Calculator هم‌پوشانی لایه‌ها صورت گرفت و لایه مکان‌یابی سد زیرزمینی دشت قلعه‌خواجه تولید شد. این لایه بر اساس جدول (۵) به ۵ دسته خیلی پایین، پایین، متوسط، بالا، خیلی بالا تقسیم‌بندی می‌شود، که نقاط مورد نظر برای احداث سد زیرزمینی مجازی در این تحقیق مکان‌هایی هستند که در دسته‌ی با پتانسیل بالا و خیلی بالا قرار می‌گیرند (شکل ۸). بعد از مشخص شدن مناطق با بیش‌ترین پتانسیل احداث سد زیرزمینی (شکل ۸) و به منظور لحاظ نمودن جهت و موقعیت مناسب سد زیرزمینی در مدل ریاضی دشت، نقشه‌ی شبکه‌ی آبراهه‌های این منطقه به نقشه‌ی مکان‌یابی سد اضافه گردید [۱] و با توجه به سرشاخه‌های اصلی آبراهه‌های منطقه به عنوان مناسب‌ترین نقاط (۴ نقطه) از لحاظ تغذیه، به عنوان سد زیرزمینی مجازی به مدل عددی اعمال شد (شکل ۹).

در اغلب نقاط ایران، به علت بارندگی کم و توزیع زمانی نامناسب آن، منابع آب زیرزمینی و مدیریت آن از الویت خاصی برخوردار است. سدهای زیرزمینی به دلیل تنوع، مکانیزم و عملکرد، در حفظ و بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی نقش قابل‌توجهی را می‌توانند ایفا نمایند [۴]. به همین منظور پس از واسنجی مدل کمی و محاسبه بیلان دشت (جدول ۳) به منظور کاربردی کردن نتایج آن سناریو مدیریتی احداث سد زیرزمینی ارائه و پاسخ آبخوان نسبت به آن مورد بررسی قرار گرفت. به منظور امکان‌سنجی مکان مناسب جهت احداث سد زیرزمینی از نه پارامتر عمق تا سطح ایستابی، گرادیان هیدرولیکی، چگالی زهکشی سطحی، هدایت الکتریکی یا شوری، آبدهی ویژه، ضخامت آبرفت، توپوگرافی (شیب)، محیط غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی استفاده شد. سپس با توجه به جدول (۴) این پارامترها در محیط نرم افزار ArcGIS10 از طریق منوی Reclassify کلاس‌بندی و

جدول ۳. بیلان حجمی مدل در سال مدل‌سازی

بیلان حجمی مدل (متر مکعب)		
خروجی	ورودی	اجزاء بیلان
-۳۰۳۶۸۸۷/۵۰۰	۰	چاه
۰	۱۶۸۶۴۷۷/۰۰۰	تغذیه
-۱۲۳۲۷۴۸/۷۵۰	۱۴۵۲۳۲۵	جریانهای زیرزمینی
-۴۲۶۹۶۳۶/۲۵	۳۱۳۸۸۰۲	مجموع
	-۱۱۳۰۸۳۴/۲۵	ورودی - خروجی



شکل ۸. لایه مکان‌یابی سد زیرزمینی دشت قلعه‌خواجه

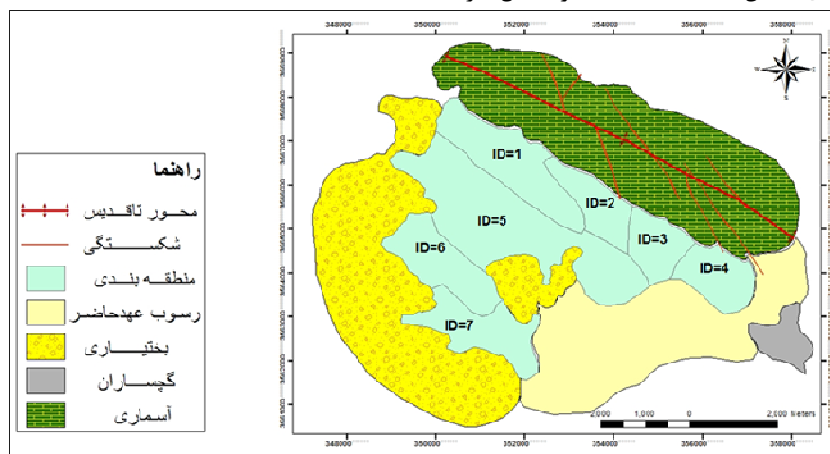
جدول ۵. شاخص پتانسیل‌یابی سد زیرزمینی آبخوان قلعه خواجه

میزان پتانسیل	ارزش
فائق	۳۲-۷۳
خیلی پایین	۷۳-۱۱۴
پایین	۱۱۴-۱۵۵
متوسط	۱۵۵-۱۹۷
بالا	۱۹۷-۲۳۸
خیلی بالا	۲۳۸-۲۷۹
عالی	۲۷۹-۳۲۰

سد، مدل اجرایی و نتایج برای زون‌های مختلف (زون-های مربوط به بیلان جز به جز شکل ۱۰) بعد از اعمال سد با نتایج قبل از اعمال سد در جدول (۶) ارائه گردید. با توجه به جدول (۶) سد شماره ۳ با داشتن بیش‌ترین بیلان مثبت بهترین نتیجه را نسبت به سایر موقعیت‌ها داراست و به عنوان بهترین مکان احداث سد زیرزمینی پیشنهاد می‌شود. این مکان با توجه به قرار گرفتن در نقطه خروجی دشت (شکل ۸) و همچنین با توجه به نقشه جهت جریان و قرار گرفتن در مسیر جریان آب زیرزمینی نیز قابل اثبات است.

سناریو احداث سد زیرزمینی با استفاده از مدل عددی قلعه خواجه

بعد از تعیین موقعیت‌های مناسب سد زیرزمینی در منطقه، اعمال سدهای مجازی به مدل عددی بدین صورت است که ابتدا لایه‌ی نهایی مکان‌یابی سد زیرزمینی دشت قلعه‌خواجه با فرمت Shp به کمک ماژول GIS نرم‌افزار GMS در این محیط فراخوانی گردید، بعد از مشخص کردن موقعیت هر چهار سد در شبکه‌ی مدل، هر یک به طور مجزا به شکل یک مرز نفوذناپذیر (با حداقل هدایت هیدرولیکی) از طریق زبانه‌ی Global منوی مادفلو به شبکه‌ی مدل عددی اعمال شدند [۱۰]. بعد از اعمال هر



شکل ۱۰. zone budget ایجاد شده در منطقه مورد مطالعه

جدول ۶. بیلان و تغییرات آن (برحسب مترمکعب بر روز) بعد از اعمال سدهای مجازی به مدل عددی

موقعیت سد	بیلان زون بعد از اعمال سد	تفاضل بیلان قبل و بعد اعمال سد
سد شماره‌ی ۱ در زون ۵	-۵۶۰۰/۱۵	-۷۵۷/۸۷
سد شماره‌ی ۲ در زون ۶	+۱۱۱/۶۴	+۹۰۹/۰۹
سد شماره‌ی ۳ در زون ۷	+۱۳۲۷/۹۸	+۲۶۷۲/۵۴
سد شماره‌ی ۴ در زون ۴	-۱۵۷۱/۸۲	-۶۷۳/۵۲

پیش‌بینی وضعیت آبخوان در شرایط خشکسالی و احداث سد پیشنهادی شماره ۳

بعد از تعیین مکان مناسب برای احداث سد زیرزمینی (سد شماره ۳) با توجه به مقدار کمینه بارندگی در دوره‌ی ۲۰ ساله ۱۳۹۱-۱۳۷۱ برابر با ۲۷۸/۵ میلی‌متر در سال برای این شرایط اجرا گردید و میزان تاثیر سد زیرزمینی پیشنهادی در شرایط خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۷. اجزا و مقادیر بیلان آبی مدل دشت قلعه خواجه در شرایط خشکسالی پس از احداث سد زیرزمینی پیشنهادی ۳

بیلان حجمی مدل		
اجزاء بیلان	ورودی	خروجی
چاه	۰	۳۰۳۶۸۸۷/۵
تغذیه	۱۶۸۶۴۷۷	۰
جریان‌های زیرزمینی	۱۴۲۸۴۳۹/۸۷۵	۱۲۲۹۸۴۶/۷۵
مجموع	۳۱۱۴۹۱۶/۷۵	۴۲۶۶۷۳۴/۷۵
ورودی- خروجی	-۱۱۵۱۸۱۸	

نتیجه‌گیری

امروزه استفاده از مدل‌های ریاضی به منظور شبیه‌سازی آبخوان و شرایط حاکم بر آن به امری متداول در مبحث آب‌های زیرزمینی تبدیل شده است. در همین راستا مدل ریاضی تفاضل محدود آبخوان دشت قلعه‌خواجه تهیه شد و سناریو مدیریتی امکان‌سنجی مکان مناسب احداث سد زیرزمینی و همچنین تاثیر احداث سد زیرزمینی پیشنهادی در شرایط خشکسالی بر مدل اعمال شد. در تهیه مدل سعی شده با دید تخصصی به محدوده مورد مطالعه واسنجی با دقت بالا صورت گیرد. بر اساس نتایج به دست آمده توسط مدل:

- ۱- بیلان آبی در سال تهیه مدل منفی است، که نشان دهنده تغییرات منفی حجم مخزن است (۱۱۳۰۸۳۴/۲۵-)
- ۲- بر اساس جدول (۵) شاخص مکان‌یابی سد زیرزمینی در دشت قلعه‌خواجه شامل مناطق با پتانسیل خیلی پایین، پایین، متوسط، بالا، خیلی بالا می‌باشد.
- ۳- با توجه به شاخص مکان‌یابی سد زیرزمینی و با توجه به جهت و موقعیت آبراهه‌های اصلی دشت چهار منطقه به عنوان مکان‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی انتخاب شدند.
- ۴- مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی به صورت Shapefile و با استفاده از ماژول GIS نرم‌افزار GMS در

اجزاء و مقادیر بیلان آبی مدل در شرایط خشکسالی و احداث سد پیشنهادی شماره ۳ در جدول (۷) ارائه گردیده است. همان‌طور که نتایج بیلان دشت نشان می‌دهد که، در صورت احداث سد شماره ۳ و در شرایط خشکسالی بیلان دشت حدود ۲۵۸۵۶۷/۲۵ متر مکعب مثبت‌تر از شرایط خشکسالی بدون احداث سد زیرزمینی خواهد شد.

- محیط این نرم‌افزار به عنوان لایه نفوذناپذیر (با حداقل هدایت هیدرولیکی) به صورت تک تک فراخوانی شدند.
- ۵- بعد از اعمال تک تک سدهای زیرزمینی و محاسبه بیلان برای آن‌ها سد زیرزمینی شماره سه با داشتن بیش‌ترین بیلان مثبت بعد از اعمال در مدل عددی، به عنوان بهترین محل احداث سد زیرزمینی در نظر گرفته شد.
 - ۶- با اعمال سد زیرزمینی شماره سه بیلان زون هفت به اندازه‌ی ۱۳۲۷ متر مکعب بر روز نسبت به حالت قبل از احداث سد زیرزمینی مثبت‌تر شد.
 - ۷- مکان سد زیرزمینی شماره سه با توجه به قرار داشتن در محل خروجی دشت و جهت جریان آب زیرزمینی نیز قابل اثبات است.
 - ۸- در صورت احداث سد زیرزمینی پیشنهادی در دشت و با احتمال وقوع خشکسالی بیلان دشت حدود ۲۰۹۸۴ متر مکعب مثبت‌تر از حالت بدون احداث سد زیرزمینی می‌گردد.
 - ۹- نتایج احداث سد زیرزمینی پیشنهادی در منطقه و تاثیر آن بر بیلان دشت نشانگر این است که، احداث سد زیرزمینی در شرایط خشکسالی به عنوان یک ابزار مدیریتی کارآمد جهت کاهش خسارات ناشی از خشکسالی (کاهش بیلان منفی دشت) است.

منابع

- [۱] اورنگ، م (۱۳۹۰) مدل‌سازی و مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت گلگیر با تاکید بر امکان‌سنجی و تاثیر سد زیرزمینی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- [۲] بتوندی غلامپور، ف (۱۳۹۲) مدل‌سازی و مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت قلعه‌خواجه خوزستان با روش مدل ریاضی تفاضل محدود، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- [۳] چیت‌سازان، م، موسوی، س. ف، میرزایی، س. ی، رستگارزاده، س (۱۳۹۱) مدیریت کمی و کیفی آبخوان دشت رامهرمز با استفاده از مدل ریاضی در MODFLOW و MD3DMS، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۵، ۱-۸.
- [۴] داودی، م. ه (۱۳۸۳) سدهای زیرزمینی راهکارهای اقتصادی و موثر برای مدیریت و توسعه منابع آب، انتشارات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- [۵] صدقی، م. م، چیت‌سازان، م (۱۳۸۳) تعیین شرایط مرزی مناسب برای مدل جریان آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین تهران.
- [۶] فیروزکوهی، ر (۱۳۹۰) مدل‌سازی منابع آب زیر زمینی دشت گتوند - عقیلی با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- [7] Faust, R. Mercer, W (1980) Ground Water Modeling: Numerical Models. Ground Water, 18:p 395-407.
- [8] Kheirkhah Zarkesh, M., Mohebbi Tafresh, A., Abde kolahchi, A., Abbasi, A .A., Majedi, A., Mohebbi Tafreshi, Gh (2012) Exploitation Management of Underground Dams by Using Mathematical Model of Finit Difference in GMS 7.1 (The case study of Sanganeh Underground Dams- Iran), Journal of Basic and Applied Scientific Research, 2(7) 6376-6384
- [9] Krabbenhoft, D., Anderson, M. P (1986) Use of a groundwater model for hypothesis testing. Ground Water, 24:p 49-55
- [10] Onder, H., Yilmaz, M (2005) Underground dams, European water. 11, P 35-45
- [11] Remson, I., Gorelick, S. M., Fleigner, J. F (1980) Computer models in groundwater exploration. Ground Water. 18(5): p447-451.
- [12] Stephens, D. B (1983) Groundwater flow and implications for groundwater contamination North of Prewitt, New Mexico, U.S.A. Journal of Hydrology. 61: 391-408.