

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره سه، خرداد ماه ۹۹

بررسی اثر سد کرخه بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل GMS

(مطالعه موردی: دشت عباس، دهلران)

محمد رضا رضایی^۱

شهلا پایمزد^{۲*}

Paimozd.ar@hotmail.com

ایاد اعظمی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۷/۱/۲۳

چکیده

زمینه و هدف: بارزترین اثر سدها، تغییر رژیم هیدرولوژیکی مناطق مجاور خود است که از جمله این تغییرات می توان به تغییر در سطح اساس آبخوان های مجاور اشاره نمود. در این تحقیق سد کرخه و تاثیر آن بر نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت عباس مورد بررسی قرار گرفت است.

روش بررسی: در این تحقیق از آمار ایستگاه های مجاور منطقه و ۱۹۲ چاه بهره برداری و ۲۴ چاه پیزومتری استفاده شد. مدل سازی عددی آب های زیرزمینی به وسیله نرم افزار GMS در آبخوان دشت عباس در جنوب استان ایلام در سال آبی ۸۹-۹۰ انجام یافته است. این مدل در دو حالت ماندگار (سه ماه) و غیر ماندگار (۱۲ ماه) برای یک و نیم سال واسنجی و سپس برای یک سال آبی صحت سنجی گردید.

یافته ها: نتایج حاصل از واسنجی، حاکی از شبیه سازی مطلوب آبخوان دشت عباس و اختلاف اندک مقادیر مشاهده ای و محاسباتی تراز سطح ایستابی است. همچنین، نتایج بیلان آبی نشان داد که سطح آب زیرزمینی در سال های قبل از ورود آب سد کرخه ۷/۰۳- و بعد از تکمیل کانال های آبرسانی بیلان دشت مثبت و مقدار آن به ۲۶/۵۰ میلیون مترمکعب در سال آبی ۸۹-۹۰ افزایش یافته است. لذا سد کرخه اثر مثبتی بر بیلان آب زیرزمینی دشت دارد.

بحث و نتیجه گیری: از بررسی بیلان آب زیرزمینی دشت عباس چنین نتیجه گیری می شود که مدل کالیبره شده در حالت پایدار و ناپایدار با دقت زیادی توانسته است، سطح ایستابی چاه های پیزومتری را شبیه سازی کند. هیدروگراف چاه های پیزومتری دشت عباس نشان داد که سطح ایستابی دشت عباس رو به افزایش است. نتایج مدل سازی بیلان آب زیر زمینی نشان داد که تغییرات ذخیره ناشی از بیلان آبی دشت عباس مثبت است و سیر صعودی هیدروگراف دشت، افزایش سطح ایستابی و بحران مناطق تبخیری بوجود آمده را نشان می دهد.

واژه های کلیدی: دشت عباس، GMS، آب زیرزمینی، مدل عددی.

- ۱- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
- ۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران. * (مسوول مکاتبات)
- ۳- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، ایلام، ایران.

Investigation of the Effect of Karkheh Dam on Ground Water Resources Using GMS Model (Case study: Dasht-Abbas, Dehloran)

Mohammad reza Rezaei¹

Shahla Paimozd^{2*}

Paimozd.ar@hotmail.com

Ayad Aazami³

Admission Date: June 20, 2018

Date Received: April 12, 2018

Abstract

Background and Objective: The most obvious effect of the dams is the change of the hydrological regime of the adjacent areas, among which these changes can be referred to the change in the base level of the adjacent aquifers. In this study, Karkheh dam and its effect on groundwater fluctuations in Abbas plain have been studied.

Method: In this study, the statistics of nearby stations, 192 exploitation wells and 24 piezometric wells were used. Numerical modeling of groundwater has been done by GMS software in Dasht-Abbas aquifer in the south of Ilam province in the water year of 2011-2012. This model was calibrated in two permanent (three months) and non-permanent (12 months) for one and a half years and then for one year.

Findings: The results of calibration indicate the optimal simulation of Dasht-Abbas aquifer and small differences in observational and computational values of water table level. Also, the results of water balance showed that the groundwater level in the years before the arrival of water Karkheh dam - 7.03 and after the completion of water supply channels of the positive plain balance and its amount has increased to 26.50 million cubic meters in the water year 2011-2012. Therefore, Karkheh Dam has a positive effect on the groundwater balance of the plain.

Discussion and Conclusion: From the study of groundwater balance in Dasht- Abbas, it is concluded that the calibrated model in stable and unstable state has been able to simulate the water level of piezometric wells with great accuracy. The hydrograph of the piezometric wells of Dasht-Abbas showed that the water level of Dasht-Abbas is increasing. The results of groundwater balance modeling showed that the reserve changes due to the water balance of Abbas plain are positive and show the upward trend of the plain hydrograph, increasing water table and the evaporation crisis.

Keywords: Dasht-Abbas, GMS, Groundwater, Numerical Model.

1- M.Sc., Department of Water Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran * (Corresponding Author)

3- Member of Faculty of Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Ilam, Iran

مقدمه

شوند. این مقدار برای ۵ و ۱۰ سال بعد به ترتیب برابر با ۳۷/۹۱ و ۵۶/۲۸٪ از اراضی دشت است. همچنین مطالعه‌ای که به بررسی تجمع آب و خاک و محاسبه میزان آن، با استفاده از مدل سازی عددی و ابزار GIS برای تخمین تغذیه آب‌های زیرزمینی در سیستم آبخوان الکادسو (اسپانیا) انجام یافته نشان داد که میزان دبی اصلی ۲ رود لیترور و ایانا به ترتیب برابر ۳۵/۵ و ۵۰ میلی‌متر بر سال است. تخمین ضرایب نیز برابر ۰/۴۹ و ۰/۳۶٪ است. آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که پارامترهای نفوذ در خاک به صورت نامعینی تخمین زده شده است (۲). غلامی و فضل اولی در سال ۱۳۹۲ با بررسی شبیه سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل GMS در آبخوان دشت نکا در شهرستان ساری از مدل ترکیبی MODFLOW و GIS و با استفاده از روش عددی تفاضل محدود، تراز آب زیرزمینی را شبیه سازی نموده‌اند، نتایج حاصل از واسنجی، حاکی از شبیه سازی مطلوب آبخوان دشت ساری - نکا و اختلاف اندک مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تراز سطح ایستایی می‌باشد. همچنین، نتایج بیلان آبی نشان داد که سطح آب زیرزمینی این آبخوان در حالت تعادل قرار دارد (۳). محققین دیگری با بررسی مدل سازی آب-های زیرزمینی در مقیاس حوضه رودخانه گنگ در کشور هند که با استفاده از مدل MODFLOW در یک دوره ۴/۵ ساله انجام گرفته به این نتیجه رسیده‌اند که تجزیه و تحلیل جریان تعامل آبخوان با استفاده از ورودی خروجی منطقه‌ای به ما اجازه می‌دهد که میزان آب به دست آمده و از دست رفته را در طول شاخه اصلی رودخانه گنگ و همچنین دیگر شاخه‌های آن را علامت‌گذاری کنیم (۴). در سال ۲۰۱۲ در تحقیقی با عنوان پیاده سازی مدل جریان آب زیرزمینی سه بعدی در منطقه نیمه خشک زرامدین بنی در شرق منطقه مرکزی تونس که با استفاده از MODFLOW به این نتیجه رسیده‌اند که آبخوان دشت بالاترین حساسیت را به تغییرات نفوذ آب و هدایت هیدرولیکی دارد. شبیه سازی مدل درک بهتری از هیدروژئولوژی آبخوان نشان می‌دهد. این مدل به عنوان یک

با توجه به اهمیت آب به عنوان عنصر حیات بخش در ایران سدهایی طراحی می‌شوند تا امکان ذخیره حداکثر آب فراهم شود. ساخت سد گزینه معقولی به نظر می‌رسد ولی احداث سدها اگرچه دارای مزایای بسیاری هستند، معایبی را نیز در پی دارند که از جمله آنها می‌توان به تغییر در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه و منطقه، ایجاد یک سطح موقت و تغییر در روند فرسایش و شور شدن خاک‌ها اشاره نمود. البته باید اذعان داشت که برخی از موارد نامبرده اثرات دوگانه دارند، بدین معنی که در شرایط خاصی می‌توانند جز اثرات مثبت نیز تلقی گردند. از جمله اثرات دوگانه سدها تغییر در سطح آب‌های زیرزمینی است.

به دلیل نوسانات غیر قابل پیش‌بینی حجم بارندگی و رخداد خشکسالی‌های پی در پی و طولانی مدت در ایران بویژه در نیمه جنوبی ایران، که موجب افت سطح آب‌های زیرزمینی و محدودیت استفاده از آنها می‌شود، ساخت سد گزینه معقولی است. از جمله اثرات دوگانه سدها تغییر در سطح آب‌های زیرزمینی است. دانش کافی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در یک منطقه می‌تواند در مدیریت بهینه منابع آب مفید و موثر باشد و به کارشناسان و مدیران در جهت افزایش بهره‌وری کمک کند. بیلان آب زیرزمینی از جمله پارامترهای موثر و ضروری برای دشت است و از جمله اطلاعات پایه و اساسی است که باید برای تصمیم‌گیری‌های کلان در مدیریت منابع آب به آن توجه شود (۱). در زمینه بیلان در داخل و خارج از کشور تحقیقات وسیعی انجام گرفته است که در زیر به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود:

قبادیان و همکاران در سال ۱۳۹۴ در تحقیقی به بررسی تأثیر احداث شبکه آبیاری و زهکشی سد گاوشان بر منابع آب زیرزمینی دشت میان دربند با استفاده از نرم افزار GMS6.5 پرداختند. نتایج نشان داده بعد از یک سال سطح آب زیرزمینی آبخوان در نواحی مرکزی دشت تا ۱/۸ متر بالا می‌آید. این مقدار برای ۵ سال و ۱۰ سال به ترتیب برابر ۳/۲ و ۵/۲ متر بوده‌است. همچنین بعد از یکسال ۶/۹۵٪ اراضی زه دار می-

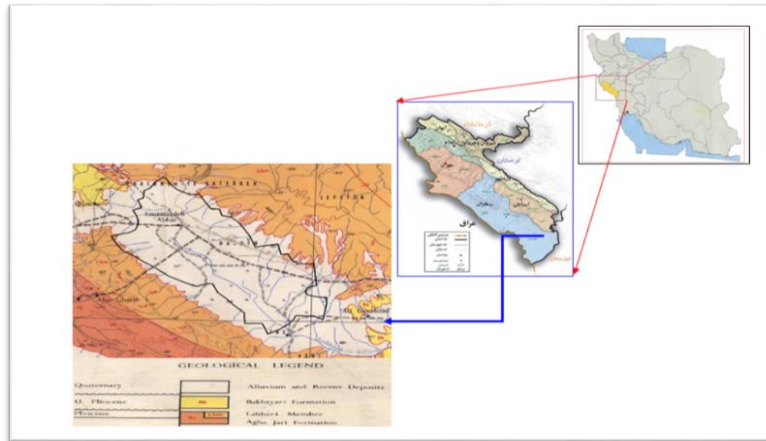
احتمال افزایش تنش هیدرولیکی شدیدی بر آبخوان دور از ذهن نبوده و در مناطق تحت تاثیر کانال‌های فعال آبیاری، سطح آب زیرزمینی به شدت بالا خواهد آمد. در نتیجه با بالا آمدن سریع سطح آب زیرزمینی دشت عباس در اثر ورود آب کرخه مناطق زهدار در منطقه مورد مطالعه ایجاد خواهد شد که در این تحقیق به آن پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه دارای موقعیت جغرافیایی $47^{\circ}43'11''$ تا $47^{\circ}59'41''$ طول شرقی و $32^{\circ}15'25''$ تا $32^{\circ}28'30''$ عرض شمالی می‌باشد. دشت عباس از نظر تقسیمات سیاسی کشور یکی از دهستان‌های بخش موسیان، شهرستان دهلران می‌باشد که در جنوب شرقی استان ایلام واقع شده‌است. این محدوده مطالعاتی بخش غربی حوضه آبریز رودخانه فصلی روفائیه است. مساحت محدوده مطالعاتی دشت عباس بر اساس نقشه‌های محدوده‌های مطالعاتی شرکت مدیریت منابع آب وزارت نیرو و نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برابر $382/75$ کیلومتر مربع بوده که از این میزان حدود $161/6$ کیلومتر مربع را ارتفاعات و $221/15$ کیلومتر مربع را دشت تشکیل می‌دهد. حداکثر ارتفاع حوضه آبریز دشت عباس 350 متر و حداقل ارتفاع حدود 137 متر است (اطلاعات آب منطقه ای استان ایلام).

ابزار مفید برای تجزیه و تحلیل فرآیندهای هیدرولوژیکی آب-های زیرزمینی که با شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی مشابه به ویژه برای توصیف آبخوان در مناطق خشک و نیمه-خشک کمک شایانی خواهد کرد (۵). در تحقیق دیگری شکوهی و همکاران در سال ۱۳۹۳ به مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی دشت تویسرکان با استفاده از مدل ریاضی GMS پرداختند. آنالیز حساسیت مدل در شرایط ناپایدار نسبت به پارامترهای مختلف نشان می‌دهد بیشترین حساسیت مدل به هدایت هیدرولیکی است. نرخ پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری و آبدهی ویژه در درجات بعدی اهمیت قرار دارند صحت سنجی برای سال آبی ۸۸-۸۹ دقت و درستی مدل را تأیید نموده و در نهایت مدل صحت سنجی شده برای پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان به مدت چهار سال از تاریخ مهر ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶ مورداستفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که بیشترین افت سطح آب در قسمت‌های مرکزی دشت اتفاق می‌افتد (۶). در سال ۲۰۱۵ اثرات انتقال آب سد کرخه در دشت عباس مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور به بررسی وضعیت کمی آب زیرزمینی منطقه با انجام مطالعات هیدروژئولوژیکی و بیلان، تغییرات تراز آب زیرزمینی قبل از آغاز بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی در سال‌های و بعد از بهره‌برداری از شبکه، و به منظور ارزیابی نوسانات سطح آب زیرزمینی پرداخته شده و خیز سالانه از اسفند ۸۴ تا پایان سال ۹۱ معادل $1/13$ متر برآورد گردیده است (۷). بنابراین با توجه به اهمیت منابع آبهای زیرزمینی و افت و خیز آن، بررسی اثر سد کرخه بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت عباس ایلام ضروری می‌باشد. انتقال آب از سد کرخه به محدوده مطالعاتی دشت عباس، آبخوان آبرفتی این دشت را تحت تاثیر قرار داده‌است. به طوری که همزمان با شروع بهره‌برداری از شبکه آبیاری دشت عباس



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of the study area Figure

ورودی و خروجی جریان، برداشت از چاه‌های بهره‌رسانی و تراز سطح ایستابی) می‌باشد که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود. - گرد آوری اطلاعات منابع آب موجود در منطقه دشت عباس از جمله آب ورودی کانال آبرسانی سد کرخه و چاه‌ها و مصارف آب در بخش کشاورزی، شرب و صنعت.

بیان آب زیر زمینی در محدوده

براساس اطلاعات پایه هواشناسی، هیدرومتری، خصوصیات سفره‌آب زیر زمینی و میزان منابع و مصارف و با استفاده از رابطه (۱) بیان آب در آبخوان دشت عباس تعیین گردید. بیان آب در گام زمانی ماهانه محاسبه می‌گردد.

روش تحقیق

جمع آوری اطلاعات پایه

در این تحقیق سه دسته کلی داده‌های ورودی نیاز می‌باشد. که عبارتند از:

الف- اطلاعات بلند مدت آمارهواشناسی ۲۵ ساله ایستگاه‌های دشت‌عباس و دهلران شامل (متوسط بارندگی، درجه حرارت سالانه، سرعت باد و) جمع آوری گردید. با استفاده از این آمار برخی مولفه‌های همانند نفوذ ناشی از بارش، رواناب و تبخیر و تعرق واقعی محاسبه می‌گردد.

ب- خصوصیات فیزیوگرافی حوضه (مرز آبخوان، توپوگرافی، سطح، کف و ضخامت آبخوان)، ضرایب هیدرودینامیک دشت (ضریب ذخیره و هدایت هیدرولیکی)، و هیدرولوژیکی (تغذیه،

$$\left[\left((Q_{in} + Q_p + Q_r + Q_{AR} + Q_I + Q_{mi}) - (Q_{out} + Q_w + Q_d + Q_e) \right) * t \right] = \pm \Delta V \quad (1)$$

استفاده از رابطه داری مقادیر ورودی آب زیرزمینی محاسبه- شده.

Q_p میزان نفوذ از بارندگی: با استفاده از روش F.A.O محاسبه گردید (۱۲). در این روش از فرمول زیر استفاده شده

$$F = 0.8(R - C \log E)^{1/2} \quad (2)$$

F: نفوذ موثر از بارندگی بر حسب میلی‌متر، R : بارندگی ماهانه C: ضریب ثابتی است که اندیس حرارتی گفته می‌شود E: تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه Q_p : آب‌نفوذی از رواناب و

عوامل موثر در تغذیه آبخوان در معادله بیان(رابطه ۱) عبارتند از:

Q_{in} میزان جریان ورودی زیرزمینی: به منظور اندازه‌گیری میزان جریان ورودی زیرزمینی با استفاده از نقشه تراز آب زیرزمینی جبهه ورودی به آبخوان مشخص شده و از انطباق نقشه هم قابلیت انتقال و نقشه هم تراز متوسط آب زیرزمینی، میانگین قابلیت انتقال در هر یک از مقاطع به دست آمده و با

شبکه تیسن و محاسبه میانگین وزنی ماهانه تراز آب زیرزمینی دشت عباس انجام و سپس هیدروگراف واحد دراز مدت برای برای دوره ۹۰-۱۳۷۰ ترسیم می گردد.

مدل GMS

در این تحقیق به منظور مدل سازی آب زیرزمینی از مدل GMS استفاده شد. بعد از شناخت کامل ورودی ها و خروجی های دشت، و تعیین بیلان دستی آب زیرزمینی جهت ساخت مدل عددی منطقه از کد کامپیوتری GMS7.5 استفاده گردید. GMS محیطی جامع و گرافیکی برای شبیه سازی جریان آب زیرزمینی است. این نرم افزار قابلیت تلفیق کد MODFLOW با GIS را دارد. این مدل جریان را به صورت سه بعدی و به روش تفاضل محدود برای حالت پایدار و ناپایدار شبیه سازی می نماید. معادله حاکم در این مدل سازی عبارت است از (معادله پواسون در حالت سه بعدی):

$$K_{xx} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_{yy} \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_{zz} \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} - w = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5)$$

در حالت ناپایدار

$$K_{xx} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_{yy} \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_{zz} \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} - w = 0 \quad (6)$$

در حالت پایدار که در آن k_{xx} و k_{yy} و k_{zz} ضرایب هیدرولیکی در راستای X ، Y و Z بر حسب واحد طول بر زمان (L/T) ، h : سطح آب بر حسب واحد طول، w : میزان تخلیه بر حسب حجم، S_s : ضریب ذخیره و t : زمان می باشد. داده های ورودی مدل از طریق سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS به محیط مدل منتقل شدند. این داده ها شامل: مرز آبخوان، تراز ارتفاعی سطح زمین، تراز سنگ کف آبخوان، چاه های بهره برداری، چاه های مشاهده ای، لایه هدایت هیدرولیکی و لایه تغذیه سطحی می باشد.

مدل مفهومی و عددی

تهیه مدل مفهومی یکی از مهم ترین مراحل مدل سازی و بر پایه مدل ریاضی است، تهیه آن بستگی به اهداف مدل سازی و منابع موجود و آمار و اطلاعات میدانی دارد. این مدل که یک تصویر ساده شده از دنیای واقعی و شامل خلاصه ای از ویژگی های سیستم هیدروژئولوژیکی است، ضمن برخورداری از دقت لازم معمولاً به صورت توصیفی و گرافیکی (نیم رخ زمین شناسی

سیلاب ها: با در نظر گرفتن مساحت حوضه خارج از محدوده بیلان، رواناب با روش کتاین محاسبه و با در نظر گرفتن درصدی به عنوان نفوذ موثر از رواناب ورودی خارج از محدوده بیلان، میزان آب نفوذی حساب شد، Q_i : آب برگشتی از آبیاری زمین های کشاورزی: میزان نفوذ موثر از آبیاری با توجه به نوع بافت خاک و نحوه آبیاری محاسبه شد، برای تغذیه ناشی از آب برگشتی چاه ها ضریب ۳۰٪ و آب برگشتی کانال ضریب ۲۰٪ در نظر گرفته شد. Q_{mi} : آب برگشتی از فاضلاب های شهری و صنعتی معادل درصدی از آب مصرفی در نظر گرفته شد. Q_{AR} : آب نفوذی از عملیات تغذیه مصنوعی: محدوده مورد مطالعه که فاقد طرح تغذیه مصنوعی می باشد (۸).

عوامل موثر در تخلیه در معادله بیلان (رابطه ۱) عبارتند از:

Q_{out} : میزان جریان خروجی زیرزمینی: میزان جریان خروجی زیرزمینی نیز مانند جریان های ورودی زیرزمینی با استفاده از قانون دارسی محاسبه می شود، Q_w : آب خروجی از چاه ها، چشمه ها و قنات، Q_d : آب خروجی از زهکش ها: به عنوان بخشی از زه آب های کشاورزی (آب برگشتی کشاورزی) در نظر گرفته شده است، Q_e : آب تبخیر شده از سفره آب زیرزمینی. در مرحله بعدی به کمک معادله (۳) تغییرات حجم ذخیره در طول سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ به دست آمد. در این معادله S_y آبدهی ویژه است که با توجه به ویژگی های بافت خاک دشت ضریب ۰/۰۵ در نظر گرفته شد، A : مساحت کل دشت و ΔH : میزان افت یا خیز سطح ایستابی چاه های دشت است.

$$\Delta V = A * S_y * \Delta H \quad (3)$$

جریان خروجی و ورودی در محدوده بیلان: دشت عباس ۲ خروجی و ۱۱ ورودی دارد که با توجه به معادله دارسی که در زیر آمده است، میزان جریان ورودی و خروجی از مرزها محاسبه می شود.

$$Q = W * I * T \quad (4)$$

در این معادله Q دبی ورودی یا خروجی از مرز، W : عرض جریان و T : ضریب قابلیت انتقال در دشت است.

هیدروگراف واحد

بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در طول دوره آماری با استفاده تعداد ۲۴ حلقه چاه های پیژومتری، و با استفاده از روش

پردازش تصاویر ماهواره‌ای

از مهم‌ترین انواع پردازش بر روی تصاویر، انجام عملیات حسابی روی باندها یا نسبت گیری باندها به منظور ایجاد شاخص های گیاهی می‌باشد. شاخص‌های گیاهی تبدیلات ریاضی هستند که بر اساس باندهای مختلف سنجنده ها تعریف شده و برای ارزیابی و بررسی مشخصات بیوفیزیکی گیاهان در مشاهدات ماهواره ای چند طیفی مورد استفاده قرار می گیرند. رابطه بین مقادیر بیوماس روزمینی حاصل از اطلاعات زمینی به عنوان متغیر وابسته و شاخص‌های مختلف محاسبه شده بر مبنای نسبت‌گیری طیفی از تصاویر به عنوان متغیر مستقل، به وسیله مدل‌های رگرسیونی محاسبه گردید. این شاخص‌ها بر مبنای مطالعات انجام گرفته (۶ و ۱۰) انتخاب شدند. تمام پیکسل های درون هر پلات انتخاب و یک مقدار متوسط از مقادیر شاخص ها در هر پلات برای هر ۳ شاخص با متوسط گیری به دست آمده است و نسبت‌گیری طیفی شاخص‌های پوشش گیاهی محاسبه شد.

هیدروژئولوژی و یا نمودار بلوکی) ارائه دهنده ویژگی‌های اصلی سیستم است. برای انجام این مرحله، پنج پوشش برای مدل تعریف شد که به ترتیب: پلیگون مرز آبخوان، پلیگون هدایت هیدرولیکی (حاصل تقسیم ضریب قابلیت انتقال بر ضخامت لایه آبدار)، پلیگون تغذیه سطحی، نقاط چاه‌های بهره‌برداری، نقاط چاه‌های مشاهده‌ای دشت عباس وارد مدل شد. شبکه‌بندی استفاده شده برای مدل‌سازی آبخوان دشت دارای سلول‌هایی با اندازه‌های یکسان $200 * 200$ متر می‌باشد.

مرحله واسنجی

یکی از قسمت‌های مهم مدل‌سازی آب زیرزمینی، کالیبراسیون پارامترها است که با عدم قطعیت همراه بوده و برآورد دقیق آن‌ها در گستره حوضه آبریز یا آبخوان امکان‌پذیر نیست. مقدار تغذیه سطحی و ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان از جمله این پارامترها می‌باشند.

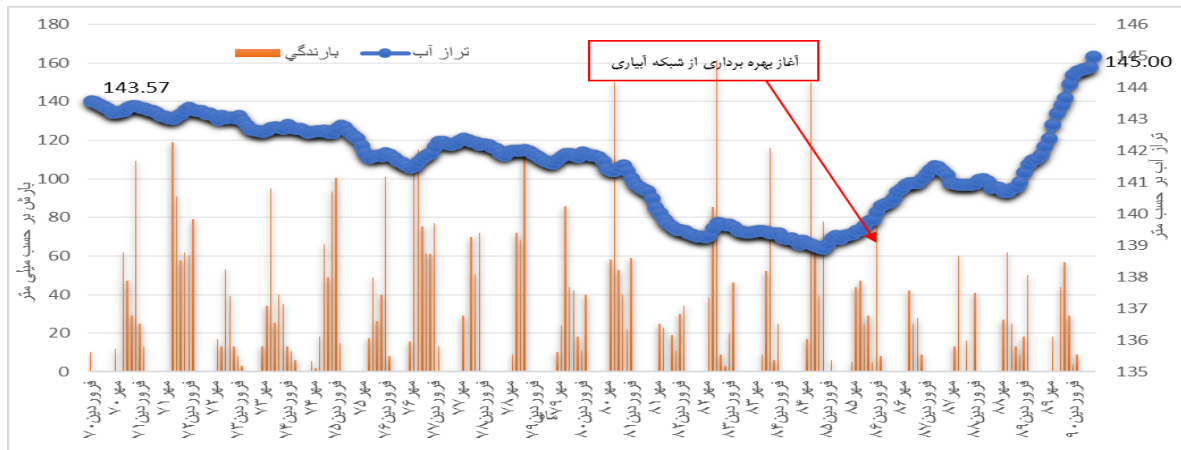
مرحله صحت سنجی

صحت مدل با تحلیل بیلان محاسباتی، مقایسه کسری مخزن و افت ناشی از آن با هیدروگراف معرف منطقه مدل و همچنین با اعمال دوره تنش متفاوت از دوره تنش مرحله کالیبراسیون مورد بررسی و تایید واقع می‌شود.

نتایج و بحث

نتایج بیلان دستی

نتایج بیلان آب زیرزمینی به صورت دستی: همان‌طور که در قسمت روش تحقیق بیان شد، ابتدا محاسبات بیلان آب زیرزمینی در دشت به صورت دستی انجام یافت. بنابراین، ابتدا نتایج بیلان دستی و سپس نتایج مدل سازی آب زیرزمینی ارائه خواهد شد. در شکل ۲ هیدروگراف واحد دشت عباس از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ را نمایش می‌دهد که در آن خیز سطح ایستابی حدود $2/4$ متر در سال است.



شکل ۲- هیدروگراف واحد دشت عباس در سال‌های (۱۳۷۰-۱۳۹۰)

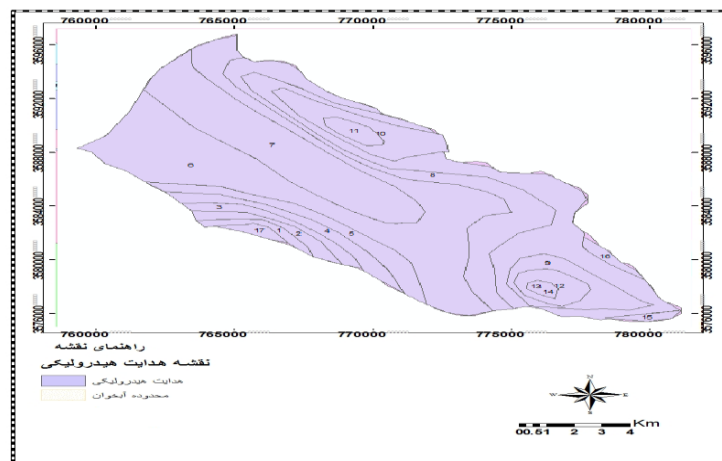
Figure 2. Unit hydrograph of Dasht-Abbas (1991-2010)

واسنجی مدل GMS

پارامتر هدایت هیدرولیکی

شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی شده پارامترهای هدایت هیدرولیکی توسط مدل GMS در حالت پایدار را نمایش می‌دهد. مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی با توجه به نتایج آزمایش‌های پمپاژ و گزارش‌ها تخمین زده می‌شود و در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی در حالت پایدار، مقادیر آن در حالت مختلف کالیبره شده است.

با توجه به اعداد اشاره شده در بالا و بررسی عوامل ورودی و خروجی دشت می‌توان به این نتیجه رسید که بیلان در دشت عباس در سال آبی ۹۰-۸۹ مثبت و به میزان ۲۶/۵ میلیون مترمکعب، ورودی‌ها از خروجی‌ها بیشتر بوده است. بین عدد بدست آمده مربوط تغییرات حجم در دوره بیلان و مقدار بیلان بدست آمده ۱۵/۱ میلیون متر مکعب اختلاف است که به علت تقریبی بودن بعضی عوامل است.



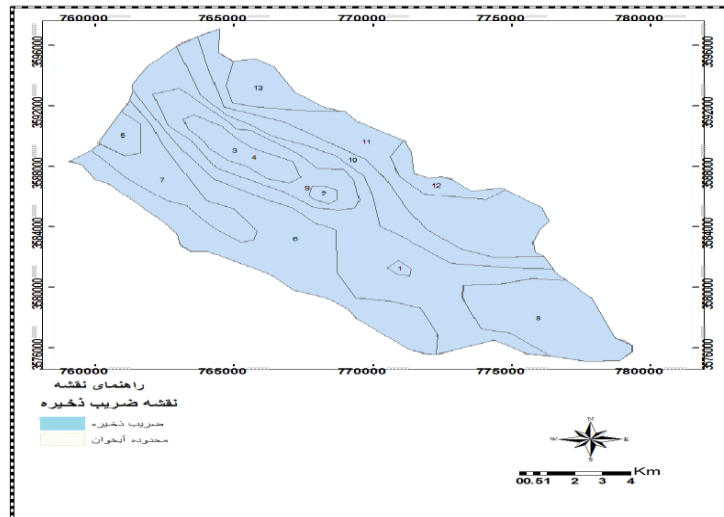
شکل ۳- نقشه هدایت هیدرولیکی کالیبره شده مدل دشت عباس

Figure 3. Calibrated Hydraulic Conductivity Map of Dasht-Abbas

پارامتر آبدهی ویژه

محصور است لذا بجای ضریب ذخیره، از آبدهی ویژه استفاده شده است.

در حالت ناپایدار میزان ضریب ذخیره آبخوان باید مشخص شود. به خاطر این که آبخوان در این منطقه از نوع آزاد و غیر

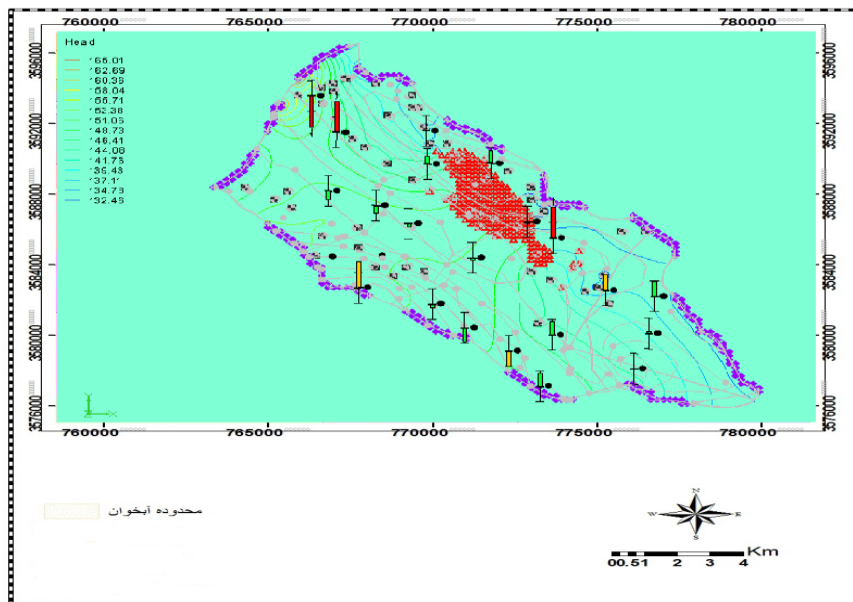


شکل ۴- نقشه آبدهی ویژه کالیبره شده مدل دشت عباس
Figure 4. Calibrated Specific Yield Map of Dasht-Abbas

منحنی‌های تراز محاسباتی و مشاهداتی

محاسباتی بیش از ± 3 متر و کمتر از ± 5 متر می‌باشد. رنگ سیاه نیز نشانگر این است که خطای محاسباتی کمتر از ± 5 متر می‌باشد. چنان که در شکل می‌توان دید، در اغلب چاه‌های مشاهداتی مقدار خطای محاسباتی کمتر از ± 3 متر می‌باشد که نشانگر کالیبراسیون موفقیت آمیز مدل عددی می‌باشد.

مقادیر خطای نهایی شبیه‌سازی شده در محل هریک از چاه‌های مشاهداتی در سطح محدوده‌ی مدل‌سازی نیز در شکل ۵ به نمایش درآمده است. رنگ سبز برای هر چاه نشان دهنده‌ی این است که میزان خطای محاسباتی در این چاه بین صفر تا ± 3 متر تغییر می‌کند. رنگ زرد نشان دهنده این است که خطای



شکل ۵- منحنی تراز محاسباتی و مقادیر خطای چاه‌های مشاهده‌ای در محدوده مدل سازی (۹۰-۸۹)
Figure 5. Computational balance curve and observation well values in the modeling range (2010-2011)

یکسان باشد. در حالت ناپایدار به علت در نظر گرفتن پارامترهای به صورت متغیر (در این تحقیق ۱۲ ماه سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ تا حدودی به شرایط واقعی نزدیک شده و مقادیر خروجی‌ها و ورودی‌ها به دشت عباس متفاوت و نزدیک شرایط واقعی بوده و به تبع آن مقدار تغییرات ذخیره عددی منفی یا مثبت خواهد بود. شایان ذکر است بسته‌های تنش به صورت ماهانه و برای مقادیر تغذیه و چاه‌های بهره‌برداری متفاوت در نظر گرفته شده. در جدول ۲ به تفکیک میزان خطای ورودی‌ها و خروجی‌ها مدل در هر سه شرایط پایدار، ناپایدار و اعتبارسنجی نشان داده شده است.

جدول ابررسی بیلان آب زیرزمینی دشت عباس توسط مدل در شرایط پایدار، ناپایدار، و اعتبارسنجی را نمایش می‌دهد. مدل کالیبره شده در حالت پایدار مربوط به سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ بوده و همان طور تغییرات ذخیره آن در جدول نشان داده شده است. از آنجا که در شرایط پایدار، بیلان باید صفر و مجموع ورودی‌ها و خروجی‌ها مساوی باشد، نتیجه مدل سازی بیلان آب زیرزمینی در شرایط پایدار تغییرات ذخیره را نزدیک صفر برآورد کرده است که نشان از کالیبراسیون مناسب مدل است. در حالت پایدار چون بسیاری از پارامترها یا اعمال نمی‌شود یا بر فرض ثابت بودن اعمال می‌شود، باید نتایج بیلان و عدد تغییرات ذخیره صفر باشد، یعنی خروجی‌ها و ورودی‌ها در شرایط پایدار

جدول ۱- بررسی بیلان آب زیرزمینی دشت عباس توسط مدل

Table 1. Review of the groundwater balance obtained by model

تغییرات ذخیره (M.C.M)	خروجی‌ها (M.C.M)		ورودی‌ها (M.C.M)		سال
	برداشت	خروجی زیرزمینی	تغذیه	ورودی زیرزمینی	
+۰/۲	۲۰/۹۰	۲/۲۰	۱۰/۲۰	۱۳/۱۰	حالت پایدار (۳ ماه بهمن، اسفند، فروردین)
		جمع	جمع	جمع	
		۲۳/۱۰	۲۳/۳۰		
+۲۶/۵۰	۲۶/۴۰	۲/۸۶	۳۵/۵۵	۲۲/۲۰	حالت ناپایدار (۹۰-۸۹)
		جمع	جمع	جمع	
		۲۹/۲۶	۵۵/۷۵		
+۳۷/۷۶	۱۴/۳۷	۲/۸۸	۳۱/۹۱	۲۳/۱۰	اعتبارسنجی (۹۱-۹۰)
		جمع	جمع	جمع	
		۱۷/۲۵	۵۵/۰۱		

جدول ۲- آمار خطای مدل در شرایط کالیبراسیون و صحت سنجی مدل

Table 2. Model error statistics in model calibration and verification conditions

اعتبار سنجی	شرایط ناپایدار	شرایط پایدار	آمارهای خطا
۰/۴۸	۰/۰۵	۰/۱۹	میانگین خطا
۰/۶۷	۰/۷۷	۰/۶۹	میانگین خطای مطلق
۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۷۳	میانگین خطای استاندارد
%۹۷	%۹۷	%۹۸	ضریب همبستگی

بحث و نتیجه‌گیری

296. (In Persian)
- Ghobadian, R, Fattahi Chaghbaghi, A, and Zare, M. (2014) Effect of construction of irrigation and drainage network of Gavoshan Dam on groundwater resources of the Mian-Darband plain using GMS6.5 model. *Water Research Journal in Agriculture*. 28, 4. (In Persian)
 - Gholami, Z., and Fazl Ola, R, (2013) Simulation of Groundwater Fluctuations Using the GMS6 Model (Case Study: Sari-Neka Plain), Sixth National Conference on Watershed Management and Water and Soil Management. (In Persian)
 - Maheswaran, R., Khosa, R., Gosain, A. K., Lahari, S., Sinha, S. K., Chahar, B. R., and Dhanya, C. T. (2016). Regional scale groundwater modelling study for Ganga River basin. *Journal of Hydrology*, 541, 727-741.
 - Lachaal, F., Mlayah, A., Bédir, M., Tarhouni, J., & Leduc, C. (2012). Implementation of a 3-D groundwater flow model in a semi-arid region using MODFLOW and GIS tools: The Zéramdine-Béni Hassen Miocene aquifer system (east-central Tunisia). *Computers & geosciences*, 48, 187-198.
 - Shokohi, F., Abde Kolah chi, A., Majidi, A., Yaghobi, B and Bakhshi, J.

از بررسی بیلان آب زیرزمینی دشت عباس چنین نتیجه‌گیری می‌شود که مدل کالیبره شده در حالت پایدار و ناپایدار با دقت زیادی توانسته است سطح ایستابی چاه‌های پیژومتری را شبیه‌سازی کند. با توجه به هیدروگراف چاه‌های پیژومتری دشت‌عباس نشان داد که سطح ایستابی دشت‌عباس رو به افزایش است، نتایج مدل‌سازی بیلان آب زیرزمینی نیز نشان داد که تغییرات ذخیره ناشی از بیلان آبی دشت مثبت است و سیر سعودی هیدروگراف دشت، افزایش سطح ایستابی و بحران مناطق تبخیری به وجود آمده را نشان می‌دهد که با نتایج غلامی و فضل اولی (۱۳۹۲) مخالف بوده و با نتایج قبادیان و همکاران (۱۳۹۴)، هورنر و همکاران (۲۰۱۶)، ماهسواران و همکاران (۲۰۱۶)، وودوارد و همکاران (۲۰۱۶) و ایوالوا و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد (۲، ۳، ۴، ۹، ۱۰ و ۱۱). با توجه به افزایش روز افزون سطح زیر کشت آبی و حجم آب ورودی به آن‌ها، مناطق تبخیری در سطح دشت رو به افزایش خواهند بود. همچنین با توجه به عدم استفاده تلفیقی آب سطحی و زیرزمینی و اجرا نشدن شبکه‌های فرعی آبیاری و زهکشی روند ایجاد مناطق تبخیری بسیار شدید بوده و کشاورزی در منطقه را با خطر مواجه می‌کند.

Reference

- Pour Mohammadi, S., Dastorani, M., T. Masah-Bovani, A., Jafari, H. and Rahimian, M., H. (2015) A Model for Determining the Components of the Surface and Underground Water Balances of the Toyserkan Plain, *The Knowledge of Water and Soil*. 3: 281-

- paths: The role of geological and hydrological site information. *Journal of Hydrology*, 534, 680-694.
10. Iwalewa, T. M., Elamin, A. S., and Kaka, S. I. (2016). A coupled model simulation assessment of shallow water-table rises in a Saudi Arabian coastal city. *Journal of Hydro-environment Research*, 12, 46-58.
 11. Hornero, J., Manzano, M., Ortega, L., and Custodio, E. (2016). Integrating soil water and tracer balances, numerical modelling and GIS tools to estimate regional groundwater recharge: Application to the Alcadozo Aquifer System (SE Spain). *Science of the Total Environment*, 568, 415-432.
 12. FAO Organization. (1973). *Irrigation, Drainage and Salinity*, an international source book. FAO/UNESCO, London, 510pp.
 - (2014). Modeling the groundwater flow of Tuyserkan plain using mathematical model GMS. The first national conference on architecture, civil engineering and urban environment, Hamedan, 45-61. (In Persian)
 7. Karami, K., Zehtabian, G., Faramarzi, M and Khosravi, H. (2013). Investigating the effect of Karkheh dam irrigation networks on land use changes Using satellite images, Case study: Dasht-e Abbas semi-arid region *Geographical Information Quarterly*, 28,106:129-140. (In Persian)
 8. Alizadeh, A. (2006) *Principles of Applied Hydrology*, Imam Reza University Press, p. 808. (In Persian)
 9. Woodward, S. J., Wöhling, T., and Stinger, R. (2016). Uncertainty in the modelling of spatial and temporal patterns of shallow groundwater flow