Archive of SID

بکارگیری مدل Modflow مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و ارزیابی عملکرد طرح تغذیه‌ی مصنوعی دشت آب باریک بم

همایون کتیبه* سعید حافظی**

دریافت ۸۲/۸/۵ پذیرش ۸۳/٤/۲٤

چکیده

این مقاله کوششی است در راستای به کارگیری مدل‌سازی جریان‌های آب زیرزمینی به منظور پیش‌بینی وضعیت آیندهٔ آبخوان آب باریک بم و نیز ارزیابی کمّی تأثیر پروژه تغذیهٔ مصنوعی این آبخوان. مطالعات نشان می‌دهند که میزان برداشت از ذخایر این آبخوان، به خصوص از سال‌های دهه‌ی شصت شمسی به بعد، بیش از میزان تغذیهٔ آن بوده است. این امر موجب افت سطح ایستابی آبخوان می‌شود به گونه‌ای که در اسفند ماه ۱۳۶۴نسبت به اسفند ماه ۱۳۵۲ در حدود ده متر افت در سطح ایستابی مشاهده می‌شود. هم‌چنین شبیه سازی آبخوان مؤید آن است که روند افت سطح ایستابی کماکان ادامه خواهد داشت، به طوری که در اسفند ماه ۱۳۸۳ میزان افت نسبت به اسفند ماه ۱۳۵۲ در حدود ۱۸ متر خواهد بود. مطالعات نشان می‌دهند که روند افت، علی‌رغم شروع به کار طرح تغذیهٔ مصنوعی آبخوان (از سال ۱۳۷۵)، ادامه خواهد داشت. هم‌چنین شبیه‌سازی نشان داده است که در اثر پخش سیلاب (به منظور تغذیهٔ مصنوعی)، به طور متوسط طی سال‌های ۷۸ ـ ۱۳۷۵ به میزان ۱۲/۶ میلیون متر مکعب آب به آبخوان افزوده گردیده که این میزان تغذیهٔ مصنوعی هر چند از نرخ افت سطح ایستابی کاسته است اما قادر به توقف روند افت سطح ایستابی آبخوان آب باریک بم نبوده است.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی آب زیرزمینی، مدیریت منابع آب زیرزمینی، تغذیه مصنوعی.

Application of Modflow in Groundwater Management and Evaluation of Artificial Recharge Project of Ab-barik Aquifer (Bam)

Katibeh, H. (Ph.D), and Hafezi, S. (M.Sc.)
Faculty of Mining Eng. University of Technology Amirkabir, Tehran

Abstract

This study is an attempt in groundwater modeling of Ab-barik aquifer (Bam, Iran), in order to asses the artificial recharge project and the future situation of the aquifer. Studies show that the discharge of the aquifer has exceeded the recharge, especially during the 1980-1990. The water table in March 1985 has dropped about 10m as compared with March 1973. Studies indicate that the drawdown of the free surface will continue in the future so that in March 2004, the drawdown will be about 18m as compared with the March 1973. Also it was found that despite the artificial recharge of the aquifer (started in 1996), the drawdown has been continuing. Modeling has showed that artificial recharge project has caused 12.6 mm3 recharge into the aquifer annually, during 1996-1999.

---

* استادیار دانشکده معدن، دانشگاه امیرکبیر، تهران
** کارشناس ارشد دانشکده معدن، دانشگاه امیرکبیر، تهران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های امروزه در بسیاری از کشورهای جهان به خصوص کشورهای خاور میانه، تأمین آب در راستای تداوم توسعهٔ پایدار می‌باشد. در بسیاری از کشورهای خشک جهان و به خصوص ایران، اصلی‌ترین منبع تأمین آب، ذخایر آب زیرزمینی است. با پیشرفت فناوری، بهره‌برداری از این ذخایر در چند دههٔ اخیر به شدت رو به فزونی گذاشته و در نتیجه روند افت سطح ایستابی و کاهش این ذخایر را به دنبال داشته است. این امر، مدیریت صحیح و علمی منابع آب زیرزمینی را به طور جدی مد نظر مسئولان و دست اندرکاران قرار داده‌است. استفاده از مدل سازی کامپیوتری و نیز استفاده از ابزار نوینی چون GIS از راهکارهای اساسی در این راستا به شمار می‌روند.

برای تبدیل موفق یک مدل مفهومی به یک مدل فیزیکی، قیاسی یا ریاضی، وجود داده‌های پایه ضروری است. این داده‌ها، اطلاعات مورد نیاز برای حل معادله اساسی را تأمین می‌کنند. برای تهیه و آماده سازی این داده‌ها در شبیه سازی آب زیرزمینی، لازم است که از مشخصات فیزیکی آبخوان اطلاعات حتی‌الامکان دقیق و کافی وجود داشته باشد. مشخصات فیزیکی یک آبخوان شامل موارد بسیاری از جمله: موقعیت، گستردگی مکانی، ضخامت لایه‌های آبدار و محصور کننده، موقعیت آب‌های سطحی (رودخانه‌ها، نهرها، دریاچه‌ها، حوضچه‌ها، ...)، موقعیت سیستم‌های زهکشی، شرایط مرزی، توپوگرافی، عوامل زمین‌شناسی و زمین ساختی (تکتونیک) می‌شود. در واقع هرچه شناخت ما از آبخوان بیشتر باشد، نتیجه شبیه سازی به واقعیت نزدیکتر خواهد بود.

پس از تهیه اطلاعات مربوط به شکل آبخوان، باید ضرایب هیدرودینامیک لایه‌های آبدار شامل ضریب انتقال و ضریب ذخیره و هم‌چنین ظرفیت ویژه و ارتباط هیدرولیکی بین آب زیرزمینی و آب سطحی تعیین شود.

مدل‌ساز برای در نظر گرفتن تنش‌های وارده بر سیستم بایستی موقعیت، نوع و زمان هر نوع تغذیه طبیعی مانند نفوذ مستقیم باران و مسیل‌ها و تغذیه مصنوعی مانند تغذیه ناشی از حوضچه‌های تغذیه، چاه‌ها یا جریان برگشتی از آبیاری را بداند. هم‌چنین از مقدار و زمان افت آب زیرزمینی در چاه‌های بهره برداری یا مشاهده‌ای، تغییر در مقدار جریان آب نهرها و تغییرات سطح آب در اجزای آب سطحی اطلاع داشته باشد

[۲]. آب و فاضلاب

در ابتدا، مدل با استفاده از تخمین اولیه پارامترهای آن و حل مدل برای ایجاد حد مطلوب در بعضی از شرایط مشخص سفره، واسنجی می‌شود. اکثر مدل‌ها در ابتدا براساس بار[1] آب زیرزمینی در حالت ماندگار واسنجی می‌شوند. برای این منظور یک نقشه سطح ایستابی یا سطح پتانسیومتریک مورد نیاز می‌باشد.

باید به این نکته نیز توجه داشت که مدل‌های عددی، تنها ابزاری برای حل هستند و خودشان جواب نیستند. مدل‌های عددی برای مسائلی که با دقت کافی تعریف نشده باشند، پاسخ‌های دقیق به دست نمی‌دهند. هیچ یک از مدل‌های عددی کاربرانشان را به شکلی خارق‌العاده از مسئولیتی که برای مطالعه دقیق سیستم آب زیرزمینی بر عهده دارند خلاص نمی‌کنند. از این رو، سوال اولیه در مدل‌سازی عددی، دانستن روش‌های عددی نیست، بلکه درک صحیح از نحوه بکارگیری مدل حائز اهمیت است.

اطلاعات مورد نیاز برای مدل عددی Modflow به طور خلاصه عبارتند از:

- اطلاعات مربوط به تقسیم‌بندی زمانی.
- توپوگرافی سطح زمین و توپوگرافی کف آبخوان.
- تعریف شرایط مرزی آبخوان.
- تعیین شبکه بندی آبخوان در دو راستای x و y و تبیین مقادیر Δx و Δy .
- تعیین پارامترهای هیدرولیکی مشخص.

[1] Head

www.SID.ir

Archive of SID

– تعیین مقداری برای پارامترهای هیدرولیکی نامشخص.

– تعیین مقادیر تغذیه و تخلیه شبکه در هر یک از دوره‌های زمانی.

دشت آب باریک بم در ۹۰ کیلومتری جنوب شرق بم و در مسیر بم به ایرانشهر قرار دارد. عرض جغرافیائی دشت بین ۲۸ درجه و ۳۰ دقیقه و ۲۸ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و طول ۵۸ درجه و ۴۵ دقیقه و ۵۹ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی واقع است. اقلیم منطقه از نوع بیابانی خشک است و میانگین بارش سالانه منطقه ۵۹ میلی‌متر می‌باشد. آبخوان آب باریک از نوع آزاد است.

مواد و روش‌ها

مدل‌سازی آبخوان آب باریک بم

مراحل مدل‌سازی فوق که در آبخوان آب باریک بم اعمال گردیده‌اند، به اختصار به شرح زیر است :

تقسیم زمان به دوره‌های زمانی

همان طور که ذکر شد برای انجام محاسبات در حالت غیرماندگار، متغیر زمان در معادلات وارد می‌شود. لازم است زمان مورد مطالعه (t) به اجزای کوچکتر (Δt) تقسیم شود. هر قدر این جزء زمانی کوچکتر باشد، دقت محاسبات بیشتر می‌شود اما حجم محاسبات افزایش می‌یابد. در مدل‌سازی آب زیرزمینی به این جزء زمانی دوره تنش[1] گفته می‌شود و بین شش ماه تا یک‌سال در نظر گرفته می‌شود. هر دوره تنش شامل یک یا چند گام زمانی می‌شود.

شرایط مرزی

شرایط مرزی در مدل‌سازی آب زیرزمینی شامل مرزهای نفوذناپذیر، مرزهای بار ثابت و مرزهای جریان ثابت می شود. در این آبخوان نیز هر سه نوع این مرزها قابل تعریف هستند. مرز غربی آبخوان به ارتفاعات جبال بارز محدود می‌گردد. با توجه به تبخیر شدید در نواحی دشت و میزان کم بارش، میزان نفوذ آب باران در نواحی دشت به آبخوان ناچیز و قابل اغماض در نظر گرفته شده است؛ لکن در ارتفاعات جبال بارز بارش‌های جوی بیشتر بوده و تبخیر نیز کمتر می‌باشد. لذا ناحیه اصلی تغذیه آبخوان آب‌باریک، همین نواحی مرتفع کوهستانی است. مرز آبخوان با این رشته کوه‌ها از نوع مرز با جریان ثابت در نظرگرفته‌شده‌است.

شواهد هیدروژئولوژیکی، شرق دشت را ناحیه تخلیه آب زیرزمینی نشان‌می‌دهد. عامل این تخلیه، رودخانه شورگز است؛ لذا در حاشیه رودخانه شورگز مرز با بار ثابت فرض گردیده است.

دو مرز دیگر آبخوان یعنی مرز شمالی و جنوبی، از نوع مرزنفوذ ناپذیر در نظرگرفته شده‌اند. البته این بدان معنا نیست که آبخوان در آن حدود با لایه نفوذناپذیر مواجه می‌باشد؛ بلکه دو مرز شمالی و جنوبی در حقیقت دو خط جریان آب زیرزمینی اند. چنانچه می‌دانیم در جریان خطی دو خط جریان یکدیگر را قطع نمی‌کنند. بنابراین هر خط جریان خود می‌تواند حکم یک مرز را ایفا کند. با توجه به آن که گسترش شمالی و جنوبی آبخوان در این منطقه زیاد بوده است، بنابراین در فاصله مناسبی دو خط جریان آب زیرزمینی به دست آمده از نقشه‌های پتانسیومتریک، به عنوان مرز نفوذناپذیر در نظر گرفته شدند. در یک جمع‌بندی می‌توان گفت که مرز غربی آبخوان مرز جریان ثابت، مرز شرقی مرز بار ثابت و دو مرز شمالی و جنوبی، مرز نفوذ ناپذیر محسوب می‌شوند.

شکل کلی آبخوان آب باریک دوکی شکل است و طول آن در امتداد جنوب غربی ـ شمال شرقی در حدود ٦٧ کیلومتر و عرض آن در امتداد شمال غربی– جنوب شرقی در عریض‌ترین قسمت در حدود ۳۹ کیلومتر است. مساحت منطقه در حدود ۱۳۰۷ کیلومتر مربع می‌باشد. شکل ۱ که عکس هوایی منطقه است، موقعیت مرزهای فوق را نشان می‌دهد. در این شکل

[1] Stressperiod

www.SID.ir

Archive of SID

علاوه بر مرز آبخوان، عوارض مهمی نظیر جاده و یا محدوده پخش سیلاب پررنگ شده‌اند.

شبکه بندی آبخوان آب باریک

در مدل‌سازی آبخوان آب باریک به دلیل هم جنس بودن آبرفت در تمامی ضخامت ناحیه اشباع که از نتایج لوگ‌های زمین‌شناسی حفاری در چاه‌های عمیق به دست آمده است، تنها یک لایه در راستای قائم تعریف شد. ضخامت این لایه براساس توپوگرافی سنگ کف و توپوگرافی سطح زمین تعریف می‌شود.

تعریف نوع سلول‌ها

در نرم‌افزار Modflow هر سلول[1] به سه صورت فعال، غیرفعال و دارای بار ثابت تعریف می‌شود. از سلول‌های نوع بار ثابت در خروجی آبخوان آب باریک وجود دارد. این سلول‌ها در محل زهکشی آبخوان توسط رود شورگز و به عبارتی در مرز شرقی حوضه قرار دارند. شکل ۲، شبکه مربعی طراحی شده و سلول‌های فعال، غیرفعال و دارای بار ثابت را نشان می‌دهد.

اطلاعات ورودی مدل به وسیله GIS

استفاده‌ای که از GIS در شبیه سازی آبخوان آب باریک شده، عمدتاً به منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی مدل بوده است. هم‌چنین از قابلیت‌های آماری آن در درون‌یابی اطلاعات مختلف استفاده شده است. بدین‌منظور نرم‌افزار ILWIS (سیستم اطلاعات منسجم آب و زمین) بکار رفته که کاربرد آن بیشتر در زمینه مسائل حفاظت آب و خاک است. در ادامه، نحوه تهیه هر یک از لایه‌های اطلاعاتی مختلف و روش کار توضیح داده می‌شود.

نقشه محدوده مورد مطالعه

برای تعیین مرز دقیق محدوده مورد مطالعه، ابتدا شش شیت از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ ناحیه رحمت آباد ریگان به هم متصل شد تا کل منطقه به وسیله این شش شیت پوشش داده شود. سپس مرز محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه مشخص شد و این مرز بسته، با استفاده از دیجیتایزر به صورت رقومی درآمد.

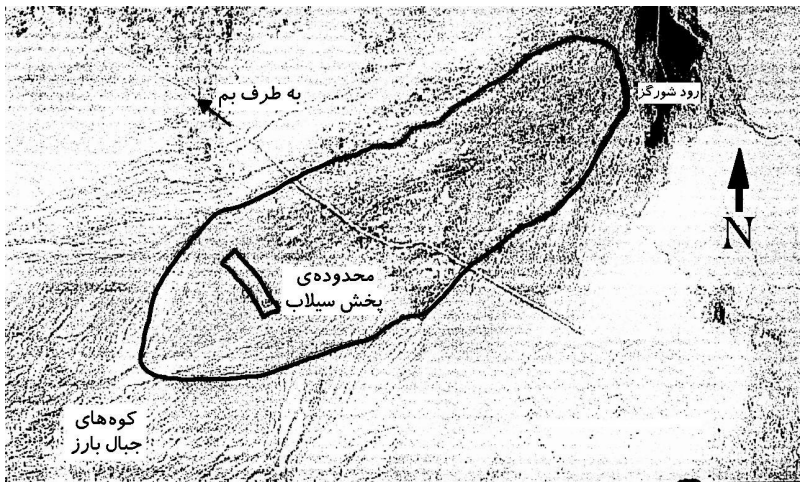
نقشه ارتفاعی سطح زمین

با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ خطوط تراز رقومی شده و سپس در نرم‌افزار ILWIS از این خطوط برای درون‌یابی و ایجاد یک سطح یک‌پارچه استفاده شد.

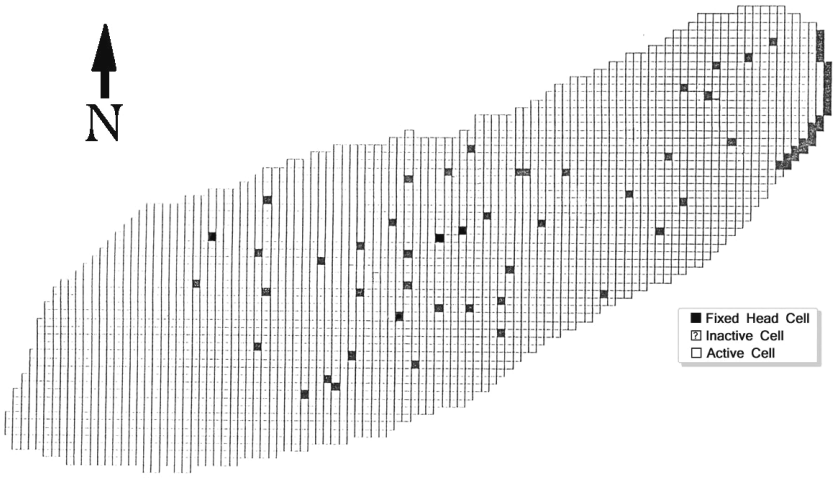
[1] Cell

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- مرزهای منطقه مورد مطالعه روی عکس هوایی ناحیه



شکل ۲- شبکه مربعی طراحی‌شده و سلول‌های فعال، غیرفعال و دارای بار ثابت

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۳- نقشه موقعیت چاه‌های پیزومتری و بهره‌برداری

نقشه ارتفاعی سنگ کف

با استفاده از نتایج مطالعات ژئوالکتریک، نقشه‌ای از خطوط تراز سنگ کف تهیه شده که با رقومی کردن این نقشه و درون‌یابی، نقشه جدیدی به صورت یک سطح پیوسته از ارتفاع سنگ کف ناحیه تهیه گردید. هم‌چنین با کسر ارقام فوق از توپوگرافی سطح زمین، نقشه هم ضخامت آبرفت دشت به دست‌آمد.

نقشه ارتفاعی سطح ایستابی

برای شبیه سازی حالت ماندگار[1] لازم است تا ارتفاع سطح ایستابی در یک زمان معین، مشخص باشد. برای این منظور از آمار سطح ایستابی در ۲٤ چاه پیزومتری در داخل و خارج از محدوده آبخوان استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا محل چاه‌ها روی نقشه مشخص شد و ارتفاع سطح ایستابی با کسر عمق آب از ارتفاع چاه برای تمام چاه‌ها به دست آمد. با استفاده از این نقشه و اطلاعات سطح ایستابی مربوط به اسفند ماه ۱۳۵۲، نقشه هم‌ارتفاع سطح ایستابی (پتانسیومتریک) به دست‌آمد. این نقشه به عنوان مبنا اختیارشده و تغییرات سطح ایستابی در سال‌های بعد نسبت به این نقشه ارزیابی شد. هم‌چنین از این نقشه در مرحله واسنجی در حالت ماندگار استفاده‌گردید.

نقشه موقعیت چاه‌های بهره برداری و پیزومتری

در برگه‌های آمار مربوط به چاه‌های پیزومتری و بهره برداری مختصاتی به عنوان مختصات UTM ذکر شده است؛ دقت این مختصات در حد یک متر می‌باشد. با استفاده از این مختصات محل هر چاه به طور دقیق بر روی نقشه به وسیله دیجیتایزر مشخص شد. در نقشه موقعیت چاه‌های بهره برداری (شکل ۳) می‌توان نواحی دارای تمرکز بیشتر چاه‌ها را مشاهده کرد.

از ۲٤ چاه پیزومتر موجود، تعداد ۱۱ حلقه چاه پیزومتر در داخل محدوده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. هشت حلقه از این چاه‌ها از سال ۱۳۵۲ تا سال ۱۳٦٤ دارای آمار بوده است اما آمار آن پس از سال ۱۳٦٤ به دلیل غیرقابل استفاده شدن چاه‌ها موجود نمی‌باشد. بنابراین در واسنجی مدل برای دوره‌های تنش پس از سال ۱۳٦٤ تا سال ۱۳۷۸ آمار سه حلقه چاه دیگر تهیه شده و مورد استفاده قرار گرفت. خوشبختانه چاه‌های پیزومتری در محدوده مورد مطالعه دارای پراکندگی خوبی هستند و این نکته در شبیه سازی آب زیرزمینی

[1] Steady State

www.SID.ir

Archive of SID

اهمیت بسیار زیادی دارد. لازم به توضیح است که آمار چاه‌های مشاهده‌ای در بعضی از سال‌ها دارای نقص است و این به دلیل عدم اندازه‌گیری سطح آب در بعضی ماه‌های سال بوده است. برای جبران این نقص‌ها ابتدا این آمار به طور کامل در نرم‌افزار اکسل[2] وارد شدند و سپس با استفاده از قابلیت ایجاد همبستگی بین دو رشته از اعداد، بین اعداد سطح آب در یک سال که دارای نقص بوده و اعداد سطح آب در سال دیگری که دارای نقص نبوده و در عین حال تغییراتی مشابه سال مذکور داشته است، همبستگی برقرار شد و اعداد مربوط به ماه‌های دارای نقص از این طریق به دست آمد.

هیدروگراف واحد آبخوان آب باریک

شکل ۴، هیدروگراف واحد آبخوان را نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشخص است، سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر به سبب برداشت زیاد و کاهش بارندگی متغیر بوده و از سال ۱۳۶۱ به بعد و به ویژه در سال ۱۳۷۰ افت زیادی داشته است. هم‌چنین دیده می‌شود که از سال ۱۳۵۲ تا سال ۱۳۷۰ میانگین تراز سطح ایستابی آبخوان به میزان ۵ متر افت نموده است (از تراز ۵۸۶/۵ متر به تراز ۵۸۱/۵). این امر به دلیل افزایش چاه‌های بهره برداری در دشت هم‌چنان رو به افزایش است و لذا انجام عملیات پخش سیلاب را به منظور تغذیه مصنوعی آبخوان امری اجتناب ناپذیر ساخته است. بر همین اساس منطقه‌ای به وسعت ۲۰۰۰ هکتار به منظور انجام عملیات پخش سیلاب در دشت مذکور در نظر گرفته شده که در عکس هوایی شکل ۱ حدود این منطقه نشان داده شده است.

واسنجی مدل

- واسنجی مدل در حالت ماندگار

حالت ماندگار معرف وضعیتی است که سیستم تغذیه و تخلیه آبخوان در حالت طبیعی بوده و پمپاژ از سفره، صفر یا حداقل مقدار ممکن باشد که با توجه به تعداد کم چاه‌های موجود در منطقه در سال ۱۳۵۲ و هم‌چنین آبکشی بسیار کم از چاه‌ها در ماه‌های اسفند و فروردین (به دلیل پرآب بودن قنوات و بارندگی زیادتر در این ماه‌ها) انتخاب تاریخ فروردین ماه سال ۱۳۵۲ برای واسنجی مدل در حالت ماندگار، منطقی‌تر است.

در این حالت ابتدا با داشتن مقادیر پارامترهای ورودی مدل شامل هدایت هیدرولیکی(به دست آمده از ۱۱ آزمایش پمپاژ) و تخلخل (به دست آمده از لاگ حفاری چاه‌ها)، تغذیه ناشی از بارندگی و نیز میزان زهکشی دشت به وسیله رودخانه شورگز تخمین زده شد و برای مدل تعریف گردید و سپس براساس روش سعی و خطا این مقادیر مرتباً تغییر داده شده و مدل اجرا شد.

ده نقطه به صورت کاملاً تصادفی اما با حفظ پراکندگی مناسب در دشت انتخاب شد و نتایج به دست آمده از مدل در این نقاط با مقدار واقعی سطح ایستابی در نقاط یاد شده مقایسه شد؛ تا هنگامی که مقادیر به دست آمده و مشاهده شده در آن نقاط به اندازهٔ کافی به یکدیگر نزدیک شدند. پس از این مرحله یک بررسی مجدد بر روی نتایج به دست آمده انجام شد و اصطلاحاً مدل در حالت ماندگار برای انجام شبیه سازی در حالت غیرماندگار نهایی شد.

شکل ۵، نقشه سطح آب زیرزمینی را پس از واسنجی مدل در حالت ماندگار نشان می‌دهد. در این شکل نقشه خطوط تراز سطح ایستابی در فروردین ۱۳۵۲ مشاهده می‌شود. تهیه شکل به این صورت بوده است که ابتدا براساس مقادیر ارتفاع سطح ایستابی در چاه‌های پیزومتری در فروردین سال ۱۳۵۲ و با استفاده از قابلیت درون‌یابی نرم افزار ILWIS، نقشه سطح ایستابی برای تمام محدوده مورد مطالعه تهیه شد و

[2] Excell

www.SID.ir

Archive of SID

به عنوان یک لایه اطلاعاتی به مدل وارد گردید. پس از انجام واسنجی و اجرای مدل، تغییراتی در این نقشه پدید آمد که نتیجه آن در شکل ۵ مشاهده می‌شود. کمترین و بیشترین مقادیر ارتفاع سطح ایستابی در این نقشه به ترتیب ۵۱۰ و ۷۹٦ متر از سطح دریا می‌باشد و خطوط تراز در آن با فاصله ۲۰ متر ترسیم شده‌اند. همان طور که مشاهده می‌شود خطوط تراز در این نقشه تقریباً با هم موازی هستند که بیانگر یکنواخت بودن شیب هیدرولیکی در منطقه است. هم‌چنین فاصله خطوط از غرب به شرق در ناحیه مورد مطالعه افزایش می‌یابد که بیانگر شیب هیدرولیکی در این راستا می‌باشد.

خطوط تراز سطح ایستابی در غرب ناحیه مورد مطالعه (دامنه ارتفاعات) به سمت شرق تحدب دارند. این تحدب نشانگر تغذیه شدن آبخوان در این ناحیه می‌باشد. هم‌چنین خطوط تراز در شرق ناحیه مورد مطالعه (حاشیه چاله لوت زنگی احمد) به سمت شرق دارای تقعر بوده که در صورت ترسیم خطوط با فواصل کمتر از ۲۰ متر تقعر آن وضوح بیشتری می‌یابد و نشانگر تخلیهٔ آبخوان در این ناحیه به رودخانهٔ شورگز است. خطوط تراز سطح ایستابی بر مرزهای شمالی و جنوبی محدوده

شکل ۴- هیدروگراف واحد آبخوان

مورد مطالعه عمود می‌باشند که این وضعیت مؤید آن است که فرض نفوذ ناپذیر بودن دو مرز فوق دور از واقعیت نیست.

- واسنجی مدل در حالت غیرماندگار

هدف از مدل سازی در حالت غیرماندگار، شبیه سازی تغییرات سطح ایستابی در ۱۱ حلقه چاه مشاهده‌ای طی بهره برداری از چاه‌ها از سال ۱۳۵۲ تا سال ۱۳۷۸ و پیش‌بینی وضعیت سفره در آینده می‌باشد. بر این اساس در این مرحله پارامترهای زیر بایستی مشخص شوند:

۱- ضریب ذخیره آبخوان
۲- دوره‌های زمانی و واحد زمان برای محاسبات
۳- شرایط مرزی و اولیه
٤- میزان تخلیه آبخوان در هر مرحله زمانی
۵- میزان تغذیه آبخوان در هر مرحله زمانی

در این مرحله عواملی چون میزان هدایت هیدرولیکی، تخلخل، شرایط زهکش‌ها و غیره که در حالت ماندگار

www.SID.ir

Archive of SID

تعیین شده‌اند، دیگر تغییر داده نمی‌شوند؛ اما برای هر دوره زمانی براساس میزان بارندگی در دوره‌های مذکور، میزان تغذیه مستقیم بارش، تغذیه ناشی از سیل و تخلیه از چاه‌ها بارها در مدل تعییر داده می‌شوند و مدل اجرا می‌گردد تا این که در نهایت ارتفاع سطح ایستابی به دست آمده از مدل، برای ۱۱ حلقه چاه مشاهده‌ای با میزان ارتفاع اندازه‌گیری شده آن چاه‌ها به اندازه کافی به یکدیگر نزدیک شوند. این کار به صورت مرحله به مرحله انجام می‌شود و پس از نزدیک شدن نتایج به دست آمده از هر مرحله با مقادیر اندازه‌گیری شده، اطلاعات مرحله جدید تعریف می‌شود و مرحله جدید در اجرای مدل وارد می‌شود. در شکل۶، منحنی نوسانات واقعی سطح ایستابی در چاه مشاهده‌ای شماره ۱ و مقادیر محاسبه‌ای آورده شده است. هم‌چنین نقشه‌های ارتفاعی سطح ایستابی برای دوره‌های زمانی ۱۰، ۲۰، ۳۰، ٤٠ و ٥٠ محاسبه‌شده‌اند که دو نمونه از این منحنی‌ها در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه‌گردیده‌است.

خروجی‌های مدل Modflow

پس از ورود لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز مدل، مدل اجرا و واسنجی گردید. به طور کلی خروجی‌های مدل جریان آب زیرزمینی برای یک سیستم آبخوان را می‌توان به موارد زیر تقسیم کرد:

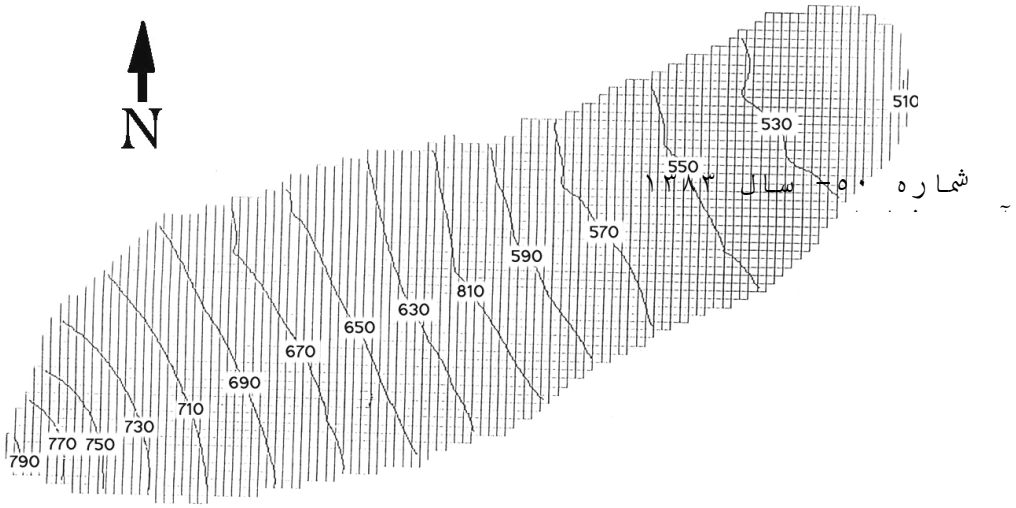
خلاصه بیلان آبی

وضعیت افت سطح ایستابی در تمام نقاط آبخوان

تعیین میزان تغذیه در ناحیه‌ای دلخواه

پیش‌بینی عوامل فوق و سطح ایستابی در سال‌های آینده

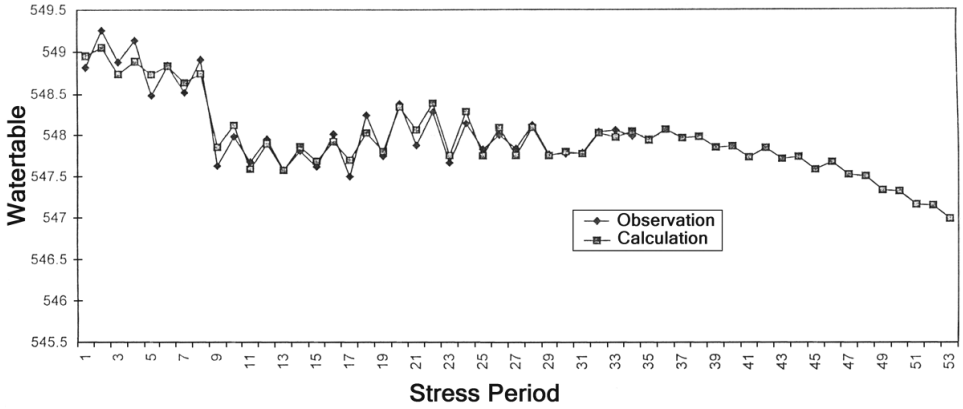
که در ادامه به این نتایج اشاره شده و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند



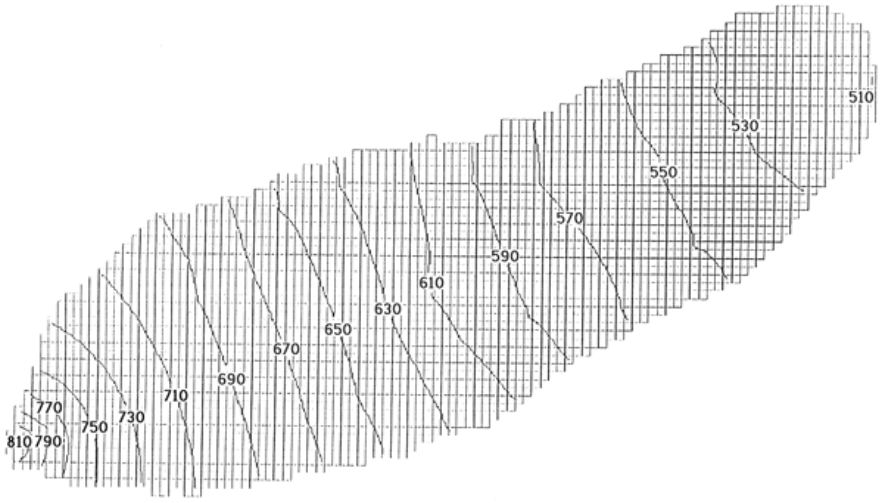
شکل ۵- نقشه تراز سطح آب زیرزمینی پس از واسنجی مدل در حالت ماندگار

www.SID.ir

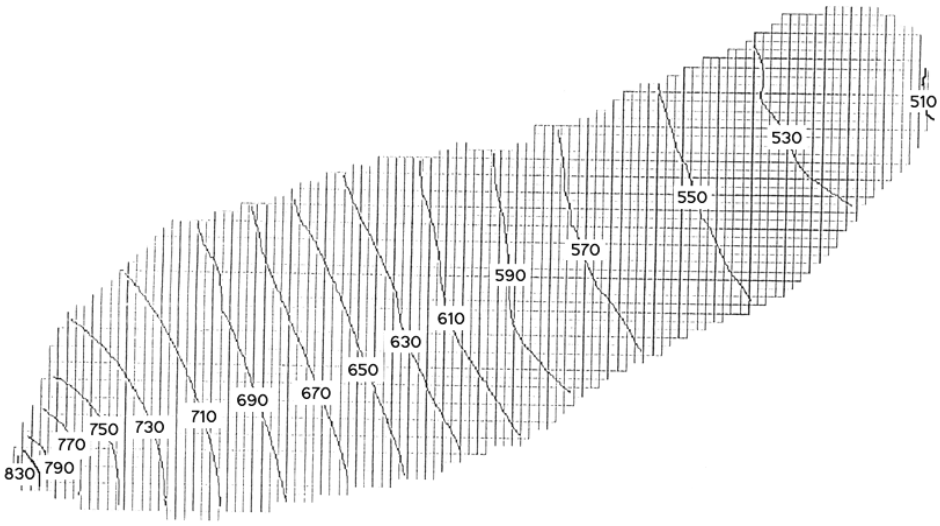
Archive of SID



شکل ۶- مقایسه سطح ایستابی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در پیزومتر شماره ۱



شکل ۷- نقشه خطوط تراز سطح ایستابی برای دوره زمانی ۲۰



www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۸- نقشه خطوط تراز سطح ایستابی برای دوره زمانی ۵۰

نتایج شبیه‌سازی

الف) خلاصه بیلان آبی

شبیه سازی آب زیرزمینی امکان تعیین بیلان آب را براساس محاسبات مدل مقدور می‌کند. به این ترتیب که مجموع میزان تغذیه و تخلیه آبخوان را در یک دوره زمانی مشخص، محاسبه و ارائه می‌نماید. انجام این کار به روش دستی بسیار وقت‌گیر و پرزحمت است زیرا لازم است تا اولاً آمار پارامترهای ورودی و خروجی برای زمان مورد نظر به صورت کامل تهیه شوند و ثانیاً تمام این مقادیر در معادله بیلان قرار گیرند و محاسبات در مورد آن‌ها انجام شود؛ در حالی که مدل قابلیت تکمیل آمار را در صورت وجود نقص در آن‌ها دارد و محاسبات را نیز به صورت خودکار انجام می‌دهد. جدول ۱ خلاصه بیلان آبی آبخوان آب باریک را براساس دوره‌های یک ساله از سال ۱۳۵۲ تا سال ۱۳۷۸ نشان می‌دهد. در این جدول میزان تغذیه طبیعی و پمپاژ از چاه‌های کشاورزی در هر سال آورده شده است. میزان تغذیه طبیعی از میزان متوسط بارندگی سالیانه در حوضه آبریز آب باریک تبعیت می‌کند. در شکل ۹، مقدار تغذیه طبیعی و برداشت از چاه‌ها نشان داده شده و در شکل ۱۰، مقادیر متوسط بارندگی سالیانه و میزان تغذیه آورده شده است. به منظور ایجاد وضوح در روند تغییرات تغذیه، مقادیر آن در ضریب ۳ ضرب شده‌اند.

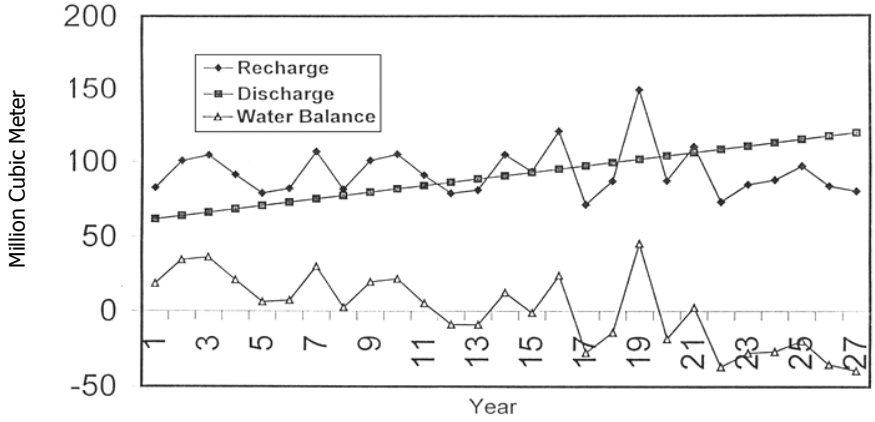
اولین نتیجه‌ای که از مشاهده شکل ۹ حاصل می‌شود آن است که مجموع برداشت از سفره به وسیله چاه‌های بهره برداری در سال‌های اخیر به نحو چشمگیری از میزان تغذیه طبیعی سفره فراتر رفته است. بنابراین روز به روز از ذخیره سفره کاسته می‌شود و این در حالی است که روند بهره برداری از چاه‌ها همان طور که از این شکل نیز قابل مشاهده است، سال به سال در حال افزایش است. متوسط ۲۷ ساله تغذیه طبیعی سفره در حدود ۹۳ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد و میزان متوسط برداشت از سفره به وسیله چاه‌ها در همین مدت ۹۰ میلیون متر مکعب در سال است. هم‌چنین از یک مقایسه دیگر درمی‌یابیم که متوسط تغذیه سفره در پنج سال ابتدای دوره (۱۳۵٦ ـ ۱۳۵۲)، ۹۱ میلیون متر مکعب و متوسط پمپاژ در همان دوره ٦٦ میلیون متر مکعب بوده است در حالی که در پنج سال انتهای دوره (۱۳۷۸ – ۱۳۷٤) متوسط تغذیه سفره با وجود تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب (۱۳۷۵ به بعد)، ۸٦ میلیون متر مکعب و متوسط برداشت از سفره ۱۱۵ میلیون متر مکعب بوده است. یعنی طی این ۲۷ سال میزان تغذیه طبیعی به دلیل کاهش بارندگی، کاهش یافته در حالی که میزان برداشت از چاه‌ها ۱/۷٤ برابر شده است.

ب) افت سطح ایستابی آبخوان آب باریک

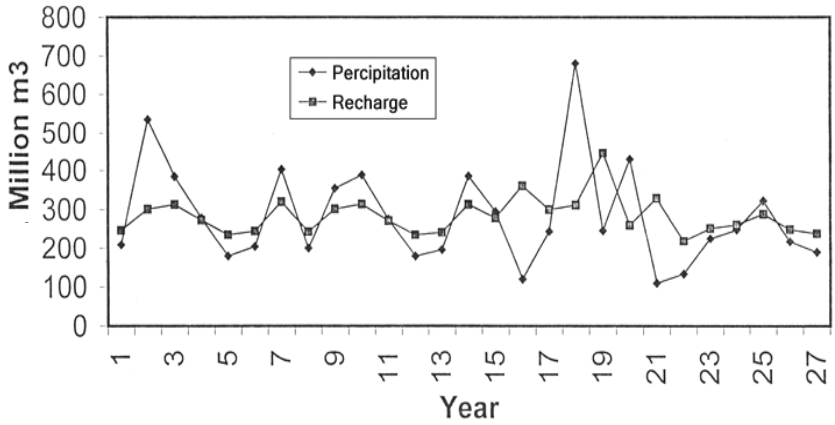
خروجی دیگر مدل آب زیرزمینی، نقشه‌های افت سطح

www.SID.ir

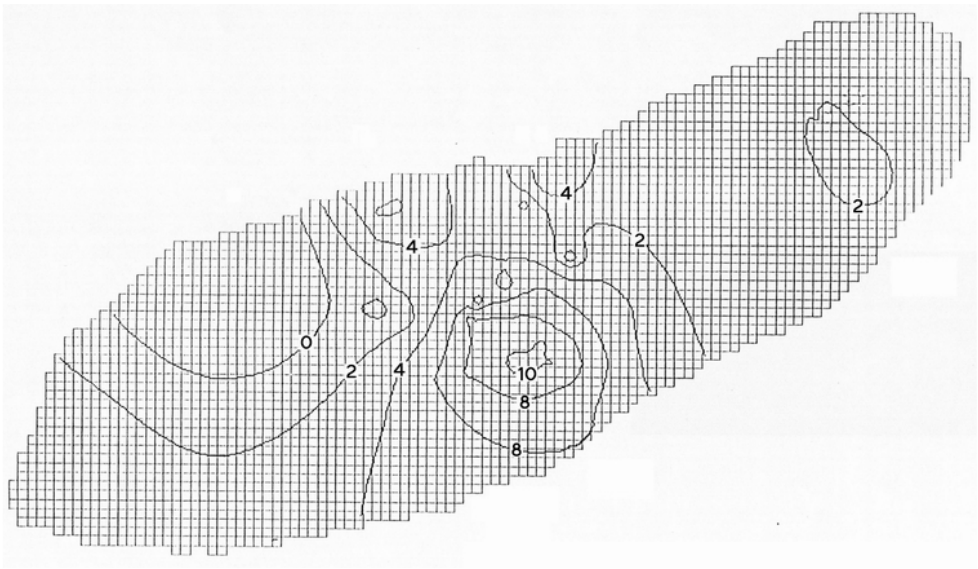
Archive of SID



شکل ۹- گراف‌های تغذیه طبیعی و برداشت از چاه‌ها و اختلاف این مقادیر طی سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۳۷۸



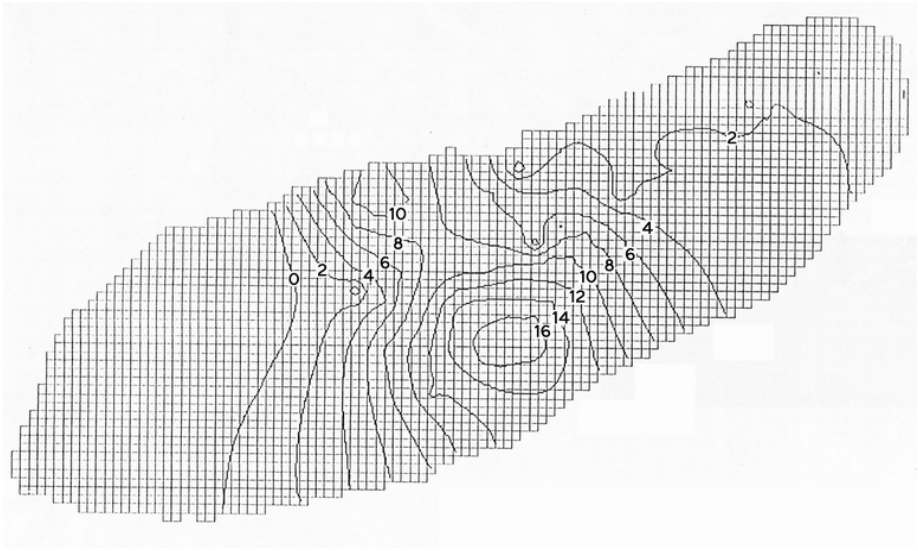
شکل ۱۰- گراف‌های متوسط بارندگی سالیانه و میزان تغذیه



شکل ۱۱- نقشه افت سطح ایستابی (بر حسب متر) از اسفند ۱۳۵۲ تا اسفند ۱۳۶۴

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۲- نقشه افت سطح ایستابی (برحسب متر) از اسفند ۱۳۵۲ تا اسفند ۱۳۷۸

ایستابی در آبخوان می‌باشد. مدل آب زیرزمینی Modflow قابلیت تهیه نقشه‌های افت سطح ایستابی برای زمانی مشخص با فرض سطح ایستابی سفره در حالت ماندگار به عنوان سطح مبنا را دارد. به طور کلی در تهیه نقشه‌های افت، اولین و مهم‌ترین هدف تعیین نقاط بحرانی سفره است. به این معنی که این نقشه‌ها مشخص می‌کنند کدام نواحی سفره به دلیل موقعیت مکانی و شرایط هیدرودینامیکی و هیدروژئولوژیکی و میزان برداشت، در معرض افت شدید هستند. هدف دوم از تهیه نقشه‌های افت، تعیین نقاطی است که در معرض افت نیستند و می‌توان پتانسیل آن‌ها را برای برداشت از سفره با در نظر گرفتن حدود بحرانی، مد نظر قرار داد و به این ترتیب از فشار وارد بر نقاط ضعف سفره کاست که اصطلاحاً به این نقاط، نقاط قوت سفره گفته می‌شود.

تعیین نقاط ضعف و قوت سفره از این نظر اهمیت دارد که اولاً در تعیین خط مشی‌های برنامه ریزی و سیاست گذاری برای بهره برداری از سفره بسیار تعیین کننده هستند و ثانیاً اخطاری برای توجه به خطر تداخل آب‌های شور و شیرین و احتمال ایجاد پدیده بالا آمدگی[1] آب شور در سفره آبخوان می‌باشند [۱].

شکل‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب وضعیت افت سطح ایستابی را در اواسط دوره (اسفند ۱۳٦٤) و اواخر دوره (اسفند ۱۳۷۸) نشان می‌دهند.همان طور که از شکل‌های مذکور مشاهده می‌شود، حداکثر میزان افت در اسفند ۱۳٦٤ کمی بیش از ۱۰ متر بوده است و این میزان در اسفند ۱۳۷۸ به بیش از ۱٦ متر رسیده است. علت اصلی افت شدید در این ناحیه وجود چاه‌های عمیق زیاد با فواصل کم از یکدیگر می‌باشد. تراکم زیاد چاه‌های کشاورزی در این محدوده به دلیل واقع شدن روستای رحمت آباد ریگان در این ناحیه و برداشت زیاد از چاه‌ها برای تأمین آب مورد نیاز می‌باشد. بنابراین منحنی‌های افت شدید را باید به عنوان محدوده‌های در معرض خطر یا نواحی بحرانی سفره معرفی کرد و محدودیت‌های جدی را برای حفر چاه‌های عمیق و پمپاژهای زیاد در این محدوده‌ها اعمال نمود.

ج) ارزیابی عملکرد طرح تغذیهٔ مصنوعی دشت آب باریک بم

از دیگر قابلیت‌های Modflow، امکان محاسبه خلاصه بیلان آبی برای یک ناحیه خاص ناحیه مورد بررسی می‌باشد. به این معنی که علاوه بر تعیین خلاصه بیلان آبی برای تمامی ناحیه مورد بررسی می‌توان محدوده‌های بسته‌ای را در شبکه مدل تعیین

[1] Upcoming

www.SID.ir

Archive of SID

کرد و از نرم افزار خواست که این محدوده بسته را به عنوان یک سیستم مجزا در نظر گرفته و پارامترهای ورودی و خروجی را برای این محدوده در هر دوره زمانی، محاسبه و مقادیر آن را تعیین کند. این قابلیت به ما امکان می‌دهد که محدوده‌هایی را که دارای اهمیت بیشتری هستند و یا دارای خصوصیات ویژه‌ای می‌باشند، مورد بررسی دقیق‌تر قرار دهیم.

همان طور که ذکر شد، در بخشی از محدوده مورد مطالعه آبخوان آب باریک، در سال ۱۳۷۳ اقدام به ایجاد یک عرصه پخش سیلاب به وسعت ۲۰۰۰ هکتار شده است. این عرصه در سال ۱۳۷۵ آبگیری شد. یکی از اهداف این تحقیق تعیین مقدار آبی است که بر اثر پخش سیلاب در زمین نفوذ کرده است. برای این منظور نقشه عرصه پخش سیلاب به وسیله GPS با مختصات دقیق تهیه شد و محدوده آن روی شبکه مدل تعریف گردید. پس از خاتمه یافتن شبیه سازی، خلاصه بیلان این ناحیه از مدل استخراج شد. نتایج به دست آمده معرف آن است که به طور متوسط در هر سال ۱۲/۶ میلیون متر مکعب آب از عرصه پخش سیلاب به آب زیرزمینی افزوده شده است. در جدول ۲، مقادیر تغذیه آبخوان از پخش سیلاب در هر دوره زمانی آورده شده است.

د) پیش‌بینی وضعیت آبخوان در سال‌های آینده

همان طور که در بحث مدل گفته شد، یکی از اهداف اصلی اکثر شبیه سازی‌ها پیش‌بینی وضعیت آینده می‌باشد. در همه پیش‌بینی‌ها پایه و اساس کار، اطلاعات و مشاهداتی است که از رفتار پدیده مورد بررسی وجود دارد.

برای پیش‌بینی وضعیت آبخوان ابتدا باید شرایط احتمالی را به صورت لایه‌های اطلاعاتی برای مدل تعریف کرد. این شرایط را می‌توان با در نظر گرفتن اهداف ویژه یا وضعیت عادی ایجاد کرد. به این معنی که می‌توان شرایط غیرمعمول را به مدل وارد کرد و واکنش آن را ارزیابی نمود یا لایه‌های اطلاعاتی را براساس روند تغییرات سیستم در سال‌های گذشته، برای سال‌های آینده حدس زد و واکنش سیستم را

جدول ۱- خلاصه بیلان آبی آبخوان آب باریک (۱۳۷۸ ـ ۱۳۵۲) برحسب میلیون مترمکعب

سال	۱۳۵۲	۱۳۵۳	۱۳۵۴	۱۳۵۵	۱۳۵۶	۱۳۵۷	۱۳۵۸	۱۳۵۹	۱۳۶۰
تغذیه	۸۲/۳۵	۱۰۰/۳۷	۱۰۴/۳۱	۹۱/۲	۷۸/۶۶	۸۱/۸۱	۱۰۶/۷۱	۸۱/۳۵	۱۰۰/۷۲
تخلیه	-۶۱/۶	-۶۳/۸۳	-۶۶/۰۵	-۶۸/۲۸	-۷۰/۵۱	-۷۲/۷۳	-۷۴/۹۶	-۷۷/۱۹	-۷۹/۴۱
زهکشی	-۲/۳۵	-۲/۱۸	-۲/۰۷	-۲/۰۴	-۱/۹۱	-۱/۸۴	-۱/۷۹	-۱/۷۷	-۱/۷۵
بیلان	۱۸/۴	۳۴/۳۶	۳۶/۱۹	۲۰/۸۸	-۶/۲۴	۷/۲۴	-۲۹/۹۶	۲/۳۹	۱۹/۵۶
سال	۱۳۶۱	۱۳۶۲	۱۳۶۳	۱۳۶۴	۱۳۶۵	۱۳۶۶	۱۳۶۷	۱۳۶۸	۱۳۶۹
تغذیه	۱۰۴/۹۷	۹۰/۸۲	۷۸/۶۶	۸۰/۸۳	۱۰۴/۷	۹۳/۲۵	۱۲۰/۶۱	۷۱/۳۲	۸۶/۹۵
تخلیه	-۸۱/۶۴	-۸۳/۸۷	-۸۶/۰۹	-۸۸/۳۲	-۹۰/۵۴	-۹۲/۷۷	-۹۵/۰۲	-۹۷/۲۲	-۹۹/۴۷
زهکشی	-۱/۷۴	-۱/۷	-۱/۷۱	-۱/۶۹	-۱/۷۱	-۱/۷	-۱/۷۲	-۱/۷۲	-۱/۷۲
بیلان	۲۱/۵۹	۵/۲۵	-۹/۱۴	-۹/۱۸	۱۲/۴۵	-۱/۲۲	۲۳/۸۷	-۲۷/۶۲	-۱۴/۲۴
سال	۱۳۷۰	۱۳۷۱	۱۳۷۲	۱۳۷۳	۱۳۷۴	۱۳۷۵	۱۳۷۶	۱۳۷۷	۱۳۷۸
تغذیه	۱۴۸/۹۲	۸۷/۱۵	۱۱۰/۱۱	۷۳/۱۲	۸۴/۵۳	۸۷/۶۱	۹۶/۸۲	۸۳/۵۵	۸۰/۰۷
تخلیه	-۱۰۱/۶۳	-۱۰۳/۹۱	-۱۰۶/۱۳	-۱۰۸/۳۳	-۱۱۰/۵۸	-۱۱۲/۸۱	-۱۱۵/۰۴	-۱۱۷/۲۶	-۱۱۹/۹
زهکشی	-۱/۷۱	-۱/۷	-۱/۶۹	-۱/۶۸	-۱/۶۴	-۱/۶۳	-۱/۶۱	-۱/۶	-۱/۶
بیلان	۴۵/۵۸	-۱۸/۴۶	۲/۲۹	-۳۶/۸۹	-۲۷/۶۹	-۲۶/۸۳	-۱۹/۸۳	-۳۵/۳۱	-۳۹/۴۲

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مقادیر تغذیه آبخوان از پخش سیلاب در هر دوره زمانی بر حسب میلیون متر مکعب

سال	۱۳۷۵		۱۳۷٦		۱۳۷۷		۱۳۷۸	
دوره تنش	٤٨	٤٧	٥٠	٤٩	٥٢	٥١	٥٤	٥٣
تغذیه مصنوعی	۹/۷۳	۲/۹٥	۱۰/۷٦	۳/۲٥	۹/۲۹	۲/۸۱	۸/۹۱	۲/٦۸
بیلان	۱۲/٦۸		۱٤/۰۱		۱۲/۱۰		۱۱/٥۹	

در قبال این رفتار تعیین نمود. به هر برنامه یا وضعیتی که در این خصوص در نظر گرفته می‌شود، اصطلاحاً یک سناریو گفته می‌شود و رفتار مدل برای سناریوهای مختلف پیش‌بینی می‌شود تا در صورت وقوع هر کنشی، آگاهی از واکنش سیستم وجود داشته باشد. در این تحقیق رفتار سیستم تا اسفند ماه ۱۳۸۳ پیش‌بینی شده است. لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز بر اساس روند تغییرات ۲۷ سال گذشته تهیه شده‌اند. میزان بارندگی براساس متوسط بارندگی پنج ساله و میزان برداشت براساس روند افزایش برداشت‌ها تعیین شده است. نتایج پیش‌بینی شامل نقشه افت سطح ایستابی، منحنی‌های سطح ایستابی در چاه‌های پیزومتری یا هر نقطه دلخواه در آبخوان، خلاصه بیلان آبی و میزان تغذیه بر اثر پخش سیلاب در مهر ماه اول و اسفند ماه دوم هر سال تا انتهای سال ۱۳۸۳ می‌باشد. شکل ۱۳، نقشه افت سطح ایستابی را در اسفند ۱۳۸۳ نشان می‌دهد. بر اساس محاسبات می‌توان گفت اگر در سال ۱۳۸۳ تغذیه آبخوان ۹۰/۸۲، تخلیه ۱۲۱/۷۷ و زهکشی ۱/۷۱ میلیون متر مکعب باشد، بیلان آبخوان ۳۲/۶۶- میلیون متر مکعب خواهد بود. این بدان معنی است که در سال ۱۳۸۳ به میزان ۳۲/۶۶ میلیون متر مکعب از ذخیره‌ی آبخوان آب باریک بم کاسته خواهد شد.

هـ) تحلیل حساسیت مدل آب باریک بم

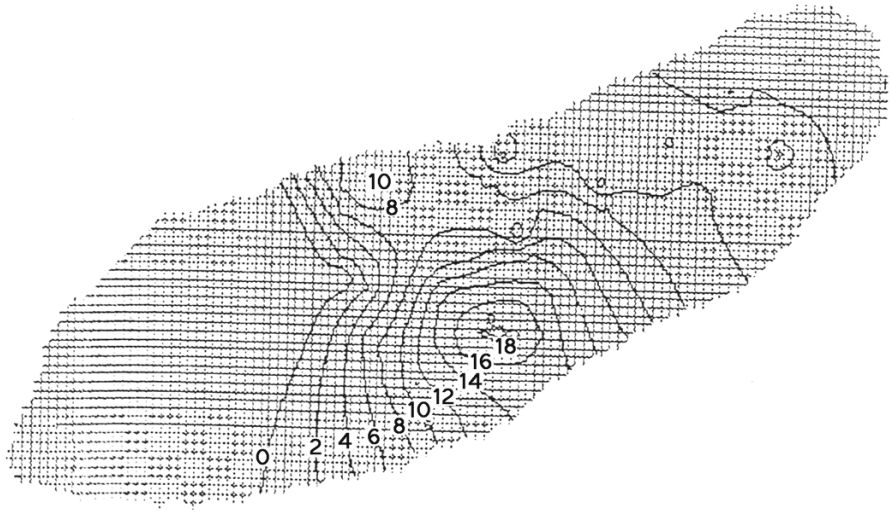
عملیات تحلیل حساسیت برروی مدل آب زیرزمینی، میزان تأثیر پذیری آن را از پارامترهای ورودی تعیین می‌کند. بنابراین به کمک تحلیل حساسیت می‌توان دریافت که در واسنجی مدل کدامیک از پارامترها از حساسیت بیشتری برخوردارند. پارامترهای ورودی مدل از یکدیگر مستقل هستند، اما در صورت تغییر همزمان آن‌ها نمی‌توان میزان تأثیر هر یک را به طور مجزا در نتیجه نهایی مدل برآورد کرد. از این رو هر یک از این پارامترها که شامل تغذیه، هدایت هیدرولیکی، تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری و زهکشی آبخوان می‌شوند، یک به یک تغییر داده شدند و با بررسی نتایج مدل پس از هر یک از تغییرات و محاسبه میزان اختلاف، شاخص حساسیت(SI) هر یک از پارامترها تعیین شد. میزان تغییر هر یک از پارامترها ۱۰+ درصد بوده است و برای بررسی میزان اختلافات، ده نقطه به صورت تصادفی با پراکندگی مناسب انتخاب شد. نتایج عملیات تحلیل حساسیت در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده در می‌یابیم که پارامتر هدایت هیدرولیکی دارای بیشترین حساسیت است و پس از آن به ترتیب تغذیه، تخلیه از چاه‌ها و زهکشی قرار دارند.

جمع‌بندی

- روند کاهش ذخیره و افت سطح ایستابی آبخوان آب باریک بم خصوصاً طی سال‌های دهۀ ۱۳٦۰ و پس از آن چشمگیر می‌باشد به طوری که در سال ۱۳۷۸ نسبت به سال ۱۳۵۲ سطح ایستابی آبخوان در بعضی از نقاط تا ۱٦ متر افت نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۳- نقشه پیش بینی افت سطح ایستابی در اسفند ۱۳۸۳ (برحسب متر)

جدول ۳- نتایج تحلیل حساسیت مدل آبخوان آب باریک(SI شاخص حساسیت وDmax حداکثر میزان اختلاف)

Point No.	هدایت هیدرولیکی		تغذیه		تخلیه از چاه		زهکشی	
	SI	Dmax	SI	Dmax	SI	Dmax	SI	Dmax
۱	۱	۳/٤٥	۲	۲۱/۹۸	۱	۳/٦۱	۱	۱/۹٤
۲	۱	۷/۳۱	۲	۱۷/٤۲	۱	٤/۲٤	۱	۱/۱۳
۳	۱	۹/۹۸	۲	۱٦/۳٥	۱	٥/۱٦	۱	۱/۰٥
٤	۲	۱۳/۲٥	۲	۱٥/۱٦	۱	۹/۷۱	۱	۲/٦۱
٥	۲	۱٤/۲۹	۲	۱۲/۸۹	۲	۱۸/٤۳	۱	۱/۳۸
٦	۲	۱۷/٤٤	۲	۱۲/۳۱	۲	۱۳/٥۷	۱	۱/۹۸
۷	۲	۱۷/٥۳	۱	۹/۸۳	۲	۱٥/٤۹	۱	۲/۷٤
۸	۲	۲۱/۸۳	۱	۹/۲۷	۱	۷/٦۸	۱	۱/۱۸
۹	۲	۲۲/۱٥	۱	٤/٥٦	۱	۳/۰٥	۱	۱/۲۲
۱۰	۲	۲۲/۷۱	۱	۳/۲۸	۱	۲/۲۹	۱	۱/۸
متوسط	۱/۷	۱٤/۹۹٤	۱/٦	۱۲/۳۰٥	۱/۳	۸/۳۲۳	۱	۱/۷۰۳

- تغذیهٔ مصنوعی آبخوان به کمک روش پخش سیلاب به طور متوسط موجب افزوده شدن سالیانه ۱۲/٦ میلیون متر مکعب طی سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۸ به ذخیرهٔ آبخوان شده است.

- علی‌رغم تغذیهٔ مصنوعی، به واسطهٔ برداشت بی‌رویه، روند افت کماکان ادامه داشته به گونه‌ای که تا اسفند ماه ۱۳۸۳ میزان افت نسبت به سال منبا (۱۳۵۲) تا ۱۸ متر خواهد بود.

پیشنهادها

پیشنهاد می‌شود که ضمن انجام مطالعات تکمیلی در مورد آبخوان آب باریک، روش‌های تغذیهٔ مصنوعی به گونه‌ای بهینه شوند که بتوانند از روند افت فعلی جلوگیری نمایند. هم‌چنین بایستی با مدیریت صحیح و استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای و تحت فشار،

www.SID.ir

Archive of SID

مصرف آب کشاورزی را هدف‌منـد نمـوده و از میـزان
برداشت از ذخایر آبخوان کاست.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

۱ـ کتیبه، همایون (اردیبهشت ۱۳۸۲) «بررسی‌های هیدروشیمیایی آبخوان آب باریک بـم»، شـشمین کنفرانس بین‌المللی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

2- Fetter, C. (1994) "Applied Hydrogeology" Printice Hall, New Jersey, USA.

www.SID.ir