ارزیابی مدیریت و پیش بینی کنترل بهره برداری آب زیرزمینی آبخوان قلعه لور با استفاده از مدل MODFLOW

علی ژولا نژاد* ، مهدی وفایی کیا

۱- کارشناس ارشد عمران مدیریت منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان (ali54joola@gmail .com)

۲- کارشناس ارشد منابع آب سازمان آب و برق خوزستان ، مدرس دانشگاه پیام نور واحد دزفول و علمی کاربردی جهاد کشاورزی دزفول(vafae1350@yahoo.com)

چکیده

برداشت آب زیر زمینی از دشت های منابع آب اگر از هم اکنون مدیریت نشود در آینده دچار بحران خواهند شد . در این راستا هدف این مطالعه مدلسازی آبخوان قلعه لور شهرستان اندیمشک در استان خوزستان و پیش‌بینی عکس‌العمل سطح افت آبخوان در مواجه با شرایط کنترل و حذف بهره برداری از چاههای فاقد مجوز می‌باشد. بدین منظور پس از جمع‌آوری داده های مورد نیاز به منظور شبیه سازی هیدرولیکی آبخوان ، عوارض با فرمت خط، نقطه و پلیگون در پوشش های جداگانه و سازگار با محیط برنامه مادفلو (Modflow) و رابط گرافیکی GMS برای پیش‌پردازش و پس پردازش داده های ورودی و خروجی مدل انتخاب شدند . پس از وارد سازی فایل‌های مذکوربه برنامه ، برآورد وضعیت فعلی آبخوان شبیه سازی کمی انجام شد. ۹ حلقه چاه مشاهده‌ای (پیزومتری) بعنوان نقاط شاهد برای واسنجی و صحت سنجی افت سطح ایستابی آبخوان درنظر گرفته شد . جهت شبیه‌سازی روند افت آبخوان در طول زمان آمار سطح آب با ۸۴ گام زمانی (ماهانه) جمع آوری شده که برای پذیرش ارقام محاسباتی و مشاهده ای، ۴۸ ماه برای دوره واسنجی و ۳۶ ماه دوره صحت سنجی با تقسیم زمان به دو مرحله ۴ سال اول برای دوره واسنجی در حالت غیرماندگار و ۳ سال انتهایی صحت سنجی زمانی مدل اجرا گردید. سپس برای پیش‌بینی وضعیت افت آبخوان، سناریو بررسی افت آبخوان در مواجهه با چهار حالت : در حالت اول میزان افت در دوره شاهد آتی با حذف چاه‌های غیرمجاز، در حالت دوم میزان افت در دوره شاهد آتی بدون حذف چاه‌های غیرمجاز، در حالت سوم میزان افت در دوره پیش‌بینی آبخوان در شرایط حذف چاه‌های غیرمجاز و در حالت چهارم میزان افت در دوره پیش‌بینی آبخوان بدون حذف چاه‌های غیر مجاز شبیه‌سازی شده است. بررسی حذف چاه‌های غیرمجاز از مدل جریان آب زیرزمینی نشان داد که وضعیت آبخوان بهبودی نسبی خواهد داشت و این موضوع در بخش غربی آبخوان که بیشتر تحت تاثیر جریان آب زیرزمینی ورودی به آبخوان و شبکه بهره‌برداری قرار دارد بیشتر نمایان است. بررسی پیش بینی وضعیت کلان آبخوان با حذف چاههای غیر مجاز نشان می‌دهد که افت سطح آب زیرزمینی ، بهبودی نسبی یافته و شیب مستمر کاهش افت آبخوان کاهش می یابد . این موضوع در سالهای بحرانی خشکسالی می تواند باعث بوجود آمدن مشکلاتی برای کمبود آب و معیشت ساکنان محدوده، همچنین مسائل زیست محیطی، کشاورزی، دامپروری ، شرب و بهداشت گردد .

واژ های کلیدی: دشت دزفول اندیمشک، آب زیرزمینی ، Modflow، GMS ، بهینه سازی، ، قلعه لور اندیمشک

مقدمه

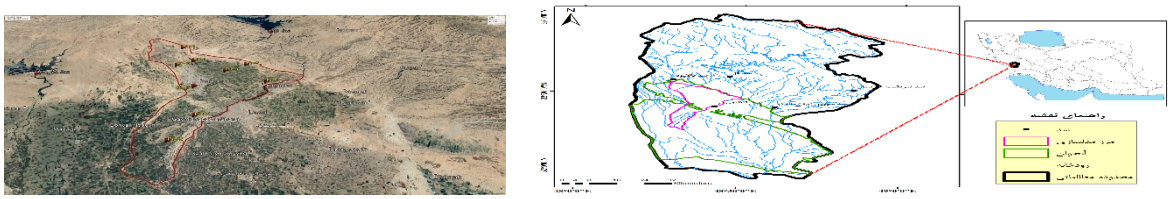
روند توسعه اراضی کشاورزی و صنعت در کشور، محدودیت منابع آب های سطحی و بهره برداری بیش از اندازه از آبخوان‌ها باعث افت جبران‌ناپذیری در منابع آبهای زیر زمینی در سال‌های گذشته شده است. علاوه بر افت شدید سطح آب در آبخوان‌ها، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری آلاینده‌های مختلفی را به آبخوان‌ها تحمیل می‌کنند که برای جلوگیری از ادامه افت کمی و کیفی، بایستی مدیریت بهره برداری و حفاظت از آبهای زیرزمینی به عنوان یک اصل پایه ایی در برنامه ریزی های کشور قرار گیرد. در صورت شناخت درست آبخوان و به شرط آماده بودن زمینه، مدل ریاضی آب زیر زمینی می‌تواند بعنوان یک ابزار کارا برای مدیریت و پیش بینی شرایط آبخوان در اختیار مدیران قرارگیرد. مدل ریاضی آب زیرزمینی شبیه‌سازی یک سامانه هیدروژئولوژیکی است که از قوانین فیزیک و ریاضی کمک می گیرد. دو مولفه اساسی آن ، مدل مفهومی و مدل ریاضی می‌باشند. مدل مفهومی در حقیقت تصویر ساده شده‌ای از سامانه می‌باشد. مدل ریاضی،

مجموعه‌ای از فرمول‌های ریاضی است که با توجه به فرضیات خاص، به فرآیندهای فیزیکی فعال در درون سامانه آبخوان مقدار می بخشد. مدل آب زیرزمینی ابزاری در اختیار می‌دهد تا بتوان داده های موجود را تبدیل به ویژگی های عددی برای سامانه آب زیرزمینی نمود. چنین مدلی تا حد قابل قبولی نماینده سامانه آب زیرزمینی خواهد بود و این امکان را به کارشناس می‌دهد که بتواند واکنش سامانه در برابر تنش های هیدرولوژیکی مثل آبیاری یا پمپاژ را بصورت عددی نشان دهد. خوشبختانه در کشور ما نیز در چند سال گذشته اهمیت نقش مدل سازی کمی و کیفی در مدیریت آبخوان درحال گسترش بوده است. در این میان آنچه توجه جدی کارفرمایان و دست اندرکاران مدیریت حوضه‌های آبریز کشور را می طلبد، لزوم گسترش و بازنگری جدی در سامانه پایش کمی و کیفی و شبکه‌های نمونه برداری آبخوان‌ها است. بنابراین مهمتر از تهیه مدل ریاضی در هر حوضه ایجاد یک سامانه پایش و نمونه‌برداری مناسب برای آبخوان منطقه می‌باشد که با توجه به نیازهای مدل ، طراحی و راه‌اندازی شده باشد. روش تفاضلات محدود برای حل معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی و بطور کلی معادلات دیفرانسیل سالها است که توسط محققین بسیاری از جمله کرانک (۱۹۶۵) ، ساوات ول (۱۹۴۶)، کرانک نیکلسون (۱۹۵۶)، تاد (۱۹۶۲)، آلن(۱۹۴۵)، کانزا(۱۹۷۵)، ریچ میور و مرتن(۱۹۶۷) و براکن سایک (۱۹۶۷) مورد استفاده قرار گرفته است [۳].توسلی(۱۳۷۷) و همچنین چیت سازان و توسلی(۱۳۷۷)[۸ و ۹] با استفاده از مدل عناصر محدود مدل ریاضی دشت مهیار را تهیه کردند و آنها مدل را برای یک دوره یک ماهه در حالت ماندگار کالیبره کردند و مقدار هدایت هیدرولیکی آبخوان را بهینه نمودند و سپس مدل را برای یک دوره ۸ ماهه در حالت ناماندگار واسنجی کردند و مقدار آبدهی ویژه آبخوان را بهینه نمودند. استفاده از مدل های کامپیوتری آب زیرزمینی در دهه های اخیر به عنوان روشی ارزان و سریع در بررسی چگونگی حرکت، بیلان و مدیریت بهره برداری از آب های زیرزمینی پیشرفت قابل توجهی داشته است.از جمله مدل هایی که دارای قابلیت های بسیار خوبی در مطالعه آب های زیرزمینی می باشد.مدل سه بعدی تفاضل محدود مکدونالد و هارباگ با نام ما است که مادفلور سال ۱۹۹۸ ارائه شده است. مادفلو یک مدل سه بعدی جریان غیرماندگار در محیط متخلخل اشباع، غیر اشباع، غیرهمگن و غیرایزوتروپ است (کرسیک، ۱۹۹۷). این مدل بطور گسترده ای مورد استفاده پژوهشگران در سراسر دنیا قرار گرفته است. در این تحقیق از روش مادفلو برای مدل سازی دشت بهره برداری شده است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

دشت دزفول – اندیمشک با کد مطالعاتی ۲۳۳۵ به عنوان وسیع‌ترین دشت در حوزه آبریز دز و وسیعترین دشت استان خوزستان است که با وسعتی بالغ بر ۷۹۰۰ کیلومتر مربع از مناطق کوهستانی شمال استان تا مناطق کم ارتفاع مرکز استان را در برمی‌گیرد. برای سهولت مطالعه هیدروژئولوژی ، دشت دزفول – اندیمشک با توجه به وضع رودخانه‌ها و ارتفاعات منطقه به پنج قسمت به ترتیب زیر تقسیم شده است. دشت سبیلی ،دشت دز غربی ،دشت دز شرقی ،دشت دیمچه ،دشت لور.موضوع این تحقیق در دشت لور اندیمشک قرار دارد شکل (۱). وسعت آن حدود ۲۹۵ کیلومترمربع از شمال و شمال غرب و غرب به ارتفاعات ، از شرق به رودخانه دز و از جنوب و جنوب غرب به روستای علی آباد محدود می‌گردد . دشت پشمینه‌زار در غرب بالارود نیز جزء محدوده در نظر گرفته شده است. (سازمان آب و برق خوزستان ۱۳۹۰). گفتنی است منابع آب زیرزمینی این دشت، تامین کننده آب شرب و بهداشت شهرستان دزفول ، اندیمشک و روستاهای اطراف با جمعیتی بالغ بر ۷۰۰ هزار نفر می‌باشد که اهمیت مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت لور را دوچندان می‌کند. (شکل ۱) . دشت قلعه لور اندیمشک با موقعیت جغرافیایی E ″۰ ′۳۰ °۴۸ و N ″۰ ′۳۰ °۳۲ از شمال به ارتفاعات از شرق به رودخانه دز و از غرب به رودخانه بالارود محدود می‌گردد.



شکل (۱) محدوده مطالعاتی دشت دزفول اندیمشک و منطقه مطالعه شده (سازمان آب و برق خوزستان ۱۳۹۰)

روش تحقیق

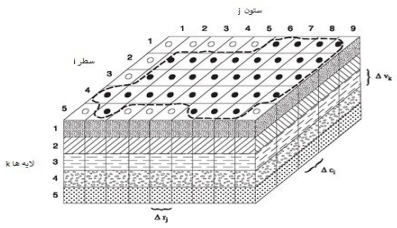
به طور کلی مدل هایی که برای مطالعه جریان آب های زیرزمینی به کار می روند به دو دسته تقسیم میشوند:

مدل های فیزیکی و مدل های ریاضی

پیش بینی وضعیت آب زیرزمینی در سال های آتی براساس داده های موجود، فقط از طریق مدل هـای ریاضـی امکـان پـذیر اسـت. ایـن تحقیق براساس مدل ریاضی آب های زیرزمینی با تاکید بر روش عددی تفاضل محدود استوار می‌باشد و فرض براین است کـه روش هـای تهیه بیلان آب زیرزمینی و برآورد پارامترهای گوناگون آن روشن است. با توجه به ویژگی های کلی و از بین رابط هـای گرافیکـی ، برنامـه نرم افزار GMS برای پیش پردازش و پس پردازش داده های ورودی و خروجی مـدل انتخـاب شـده اسـت و کـد روش مـادفلو جهـت بـه کارگیری در ساخت مدل از این برنامه مورد استفاده قرار گرفته است.

نوع مدل از نظر گسترش مکانی	دو بعدی در سطح
طول مدل در جهت محور X	۱۴ کیلومتر
طول مدل در جهت محور Y	۲۶ کیلومتر
تعداد سلولها در جهت X	۲۸
تعداد سلولها در جهت Y	۵۲
مساحت محدوده مدل	۳۶۵ کیلومتر مربع
تعداد واحد های آب – چینه ای	یک واحد
نوع آبخوان	آزاد
زمان برای واسنجی و صحت سنجی	۷سال – ۸۲ ماه- (از سال ۸۹---۹۰ تا ۹۶-۹۷)
زمان برای پیش بینی	۶ سال (از سال ۹۶-۹۷ تا ۱۴۰۱-۱۴۰۲)
داده های مدل که به برنامه معرفی شده اند	توپوگرافی سطح فوقانی ، توپوگرافی سنگ کف لایه آبدار، قابلیت هدایت شرایط مرزی K هیدرولیک
ماجول هایی که در مدل استفاده شده اند	Rechange package well package
حل کننده (solver)	SIP

شکل (۲) مشخصات مدل دشت قلعه لور اندیمشک



شکل (۳) طرح سلول های فعال و غیر فعال ایجاد شده توسط مدل در محدوده مطالعاتی

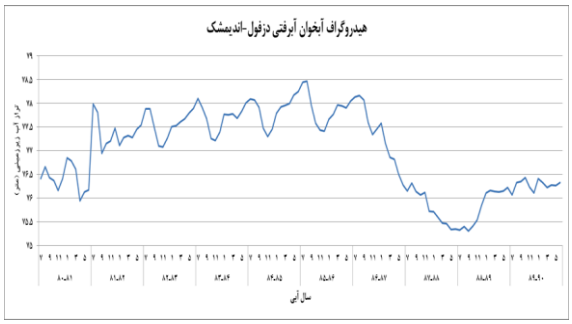
در این بررسی ابتدا منطقه به سلولهایی تقسیم می شوند ،نوع سلولهای همگی مربعی است. برای مدل مورد نظر ابعاد سلولهای بـه صـورت مربعی و با ابعاد ۵۰۰*۵۰۰ متر مربع انتخاب و به تعداد ۱۱۸۰ سلول به مدل معرفی گردید . اگر چه تعداد هـر چـه بیشـتر سـلولها و یـا بـه عبارتی انتخاب سلولهایی با ابعاد کوچکتر ظاهرا منجر به بالاتر رفتن دقت مدل می شود، اما اگر این کوچک کردن ابعاد سلولها متناسـب بـا آمار و اطلاعات موجود نباشد، این امر غیر منطقی بوده و صرفاً باعث افزایش حجم و وقت گیر شدن مدلسازی مـی شـود. ایـن مـدل دارای ویژگی هایی همچون ابعاد مکانی ، ابعاد زمانی، شرایط اولیه، شرایط مرزی و خصوصیات هیدرولیکی می باشـد .مشخصـات مـدل درجـدول فوق ارائه شده است.

در این مدل هر دو رژیم ماندگار و غیرماندگار مورد مطالعه قرار گرفت. در رژیم ماندگار یک دوره تنش و یک گـام زمـانی مطالعـه و سـپس رژیم غیرماندگار اجرا شده است. جواب های آبخوان به رژیم ماندگار به عنوان شرایط اولیه برای رژیم غیرماندگار استفاده شده است. ضرایب هیدرودینامکی آبخوان براساس نتایج استخراجی مقادیر اولیه برای هدایت هیدرولیکی بصورت یک لایه پوششی با فرمت افقیK وارد مدل مفهومی شد. توپوگرافی سنگ کف از پروفیلهای ژئوالکتریک موجود که در مرحله مطالعات زمین شناسی و هیدروژئولوژی منطقه تهیه شـده بود ، استخراج گردید. از این فایل برای قابلیت انتقال آبخوان و نیز نفوذ از بارندگی استفاده شده است. البته برخـی از ایـن فایـل‌هـا کـه در گزارشات سازمان آب و برق خوزستان با فرمت اتوکد (DWG) تهیه شده بکارگیری شد.

در این مطالعه مرزهای آبخوان ، در مدل مفهومی مشـخص شـده ا نـد. عـلاوه بـر آن مرزهـای ورودی و خروجـی در مـدل سـازی رژیـم غیرماندگار بارهای هیدرولیکی ثابتی نداشته بلکه در هر دوره نوسان نشان می دهند.

واسنجی مدل به روش سعی و خطا انجام شده است. بدین صورت که بار هیدرولیکی به عنوان مقدار واسنجی و نیز هدف واسنجی انتخـاب شده و تعداد ۹ چاه پیزومتری به عنوان شاهد درنظر گرفته شد و با محاسبه سطح آب ابخوان در مدل با سطح آب این پیزومترهـا مقایسـه و واسنجی (کالیبراسیون) انجام شد.

ناحیه	چاه		چشمه		قنات		جمع	
	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه
ارتفاعات	۸۵	۱۶/۴۴	۲۹	۱۳/۹۳	۰	۰/۰۰	۱۱۴	۳۰/۳۷
دشت	۳۴۵۶	۵۳۹/۳۵	۰	۰/۰۰	۰	۰/۰۰	۳۴۵۶	۵۳۹/۳۵
آبخوان پشمینه زار	۳۲۴	۱۰۶/۷۰	۰	۰/۰۰	۰	۰/۰۰	۳۲۴	۱۰۶/۷۰
آبخوان دزفول	۳۱۲۰	۴۳۰/۵۱	۰	۰/۰۰	۰	۰/۰۰	۳۱۲۰	۴۳۰/۵۱
محدوده	۳۵۴۱	۵۵۵/۷۹	۲۹	۱۳/۹۳	۰	۰/۰۰	۳۵۷۰	۵۶۹/۷۲



شکل(۵ و۶) وضعیت تخلیه ، برداشت از منابع آب زیرزمینی (MCM۱) و هیدروگراف دشت(گزارش بیلان سازمان آب و برق خوزستان)

[1] Million cubic meter

در این بررسی ابتدا منطقه به سلولهایی تقسیم می شوند ،نوع سلولهای همگی مربعی است. برای مدل مورد نظر ابعاد سلولهای بـه صـورت مربعی و با ابعاد ۵۰۰*۵۰۰ متر مربع انتخاب و به مدل معرفی گردید . اگر چه تعداد هر چه بیشتر سلولها و یا به عبارتی انتخاب سلولهایی با ابعاد کوچکتر ظاهرا منجر به بالاتر رفتن دقت مدل می شود، اما اگر این کوچک کردن ابعاد سلولها متناسب با آمار و اطلاعات موجود نباشد، این امر غیر منطقی بوده و صرفاً باعث افزایش حجم و وقت گیر شدن مدلسازی می شود. در شکل (۳-۱۰) مرز منطقـه جهـت تهیـه مـدل مفهومی آبخوان ارائه شده است.

اجرای مدل

با فرض آنکه تمام پارامترهای مدل به طور صحیح به هر سلول تخصیص داده شده باشد، قبل از آنکه مدل بـه طـور واقعـی اجـرا شـود، استفاده کننده از مدل، باید یکی از بسته های محاسباتی را انتخاب، چندین پارامتر محاسباتی را تشخیص داده و نتایج قابـل ذخیـره مـدل را انتخاب کند. نقطه مشترک در تمام بسته های محاسباتی، معیار تغییر بار هیدرولیکی برای همگرایـی و حـداکثر تعـداد تکـرار مجـاز اسـت. هنگامی که مقدار حداکثر مطلق تغییر بار هیدرولیکی در هر سلول مدل، کمتر یا مساوی معیار تغییـر بـار هیـدرولیکی اسـت، فرآینـد تکـرار متوقف می شود. گسترده ترین روش های محاسباتی مادفلو عبارتند از: روش به شدت ضـمنی (SIP)، روش فـوق تخفیـف متـوالی و روش PCG2. عملاً بهتر است هر سه روش را مورد بررسی قرار داد تا مشاهده شود که کدام روش نتایج بهتری را برای مساله خـاص ارائـه مـی دهد.

داده های ورودی به برنامه

- معرفی مدل مفهمومی منطقه مطالعه شده به برنامه مادفلو با استفاده از نرم افزار GMS که با مدل مادفلو انطباق دارد
- شبکه بندی و تعریف ابعاد سلولهای منطقه مطالعه شده (در این تحقیق ابعاد سلولها ۵۰۰*۵۰۰ در نظر گرفته شده اند)
- معرفی توپوگرافی سطح زمین و سنگ بستر منطقه مطالعه شده به برنامه
- معرفی داده های ورودی تغذیه و تخلیه آبخوان شامل رودخانه ها، بارندگی ، تخلیه از مرز آبخوان و چاههای بهره برداری بـا اعمـال کسـر ضریب آب برگشتی به آبخوان
- ضرایب هیدرودینامکی آبخوان: براساس نتایج استخراجی مقادیر اولیه برای هدایت هیدرولیکی بصـورت یـک لایـه پوششـی[1] بـا فرمـت Horizonal K وارد مدل مفهومی شد.

واسنجی و تحلیل حساسیت

واسنجی یا کالیبراسیون عبارتست، از فرآیند پیدا کردن مجموعه ای از شرایط مرزی، تنش ها و پارامترهای هیدروژئولوژیک که نتایج بدست آمده از آن به صورت بسیار نزدیکی بر اندازه گیری های بارهیدرولیکی و جریان بار صحرایی برازش دارد. واسنجی هـر مـدل، بایـد از قبـل دارای هدفی از خطای قابل قبول باشد. دامنه خطای قابل قبول، عمدتاً به هدف مدل بستگی دارد.

واسنجی مدل را می توان برای شرایط ماندگار، غیرماندگار و یا هردو انجام داد. اگرچه واسنجی حالت ماندگار، عمـلاً در مـدل سـازی دارای ارجحیت است، ولی بنابه دلایل زیر، باید کوشش کرد که واسنجی حالت غیر ماندگار نیز، وجود داشته باشد:

جریان آب زیرزمینی به طور طبیعی غیر ماندگار و اغلب در معرض تغییرات مصنوعی (ساخته دست انسان) است.

هدف معمول مدل، پیش بینی است که از لحاظ تعریفی وابسته به زمان می باشد.

واسنجی حالت ماندگار، شامل خواص ذخیره ای آبخوان که برای پیش بینی (حالت غیر ماندگار) بحرانی است، نمی باشد.

صحت سنجی

زمانی می توان گفت که یک مدل صحت سنجی شده است که ثابت گردد صحت و قابلیت پـیش بینـی آن در محـدودیت هـای قابـل قبولی از آزمون های مستقل از داده های واسنجی واقع می شود. نمونه ای از یک صحت سنجی برای مجموعه ای از داده هـای صـحرایی در شرایط ماندگار یا غیر ماندگار انجام می گـردد. اگـر پارامترهـای مـدل واسـنجی نظیـر شـرایط مـرزی، تـنش هـا و توزیـع خصوصـیات هیدروژئولوژیک (نظیر نفوذ پذیری، قابلیت انتقال، تخلخل موثر) صحیح باشند، مجموعه داده های مستقل صحرایی بایـد بـه طـور نزدیـک شرایط مرزی و تنش های جدید مدل را برازش کنند. برای مثال، مجموعه داده های واسنجی، ممکن است نمایشگر دوره مرطوب با سـطح

[1] Coverage

ایستابی بالا، سطح بالای آب در رودخانه مجاور و تغذیه جانبی زیاد از آبخوان مجاور باشد . اگر مجموعه داده های صحت سنجی در اثنای دوره فروکش جمع آوری شود، شرایط مرزی وابسته به آن (سطح آب رودخانه، تغذیه جانبی) و تنش ها باید مطابق با آن تغییر یابد. اگر مدل اجرا شده با شرایط تغییر یافته مذکور، توزیع بارهای هیدرولیکی را ایجاد کند که به طور نزدیک با مجموعه داده های مذکور سازگار باشد، مدل، صحت سنجی شده است. اما اغلب اوقات لازم است که برخی پارامترهای هیدروژئولوژیک تغییر یابد تا برازش قابل قبولی به دست آید. در چنین مواردی، صحت سنجی در واقع به صورت واسنجی در می آید و به مجموعه داده های جدید مستقل، برای صحت سنجی نیاز است.

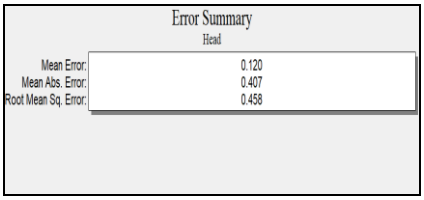
صاحبان آثار توجه داشته باشند که این دستورالعمل به‌منظور یکسان سازی فرمت مقالات تهیه شده است، تا مجموعه مقالات هم سریعتر و هم با شکل مناسب در اختیار شرکت‌کنندگان قرار گیرد. لازم است پس از تنظیم مقاله با این دستورالعمل، تعداد کل صفحات مقاله نباید بیش از ۸ صفحه باشد.

نتایج و بحث

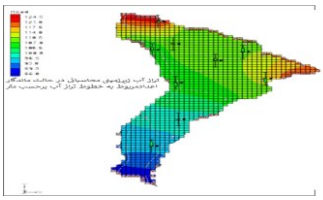
واسنجی مدل ماندگار جریان آب زیرزمینی

برای اجرای مناسب مدل یک دوره ۷ ساله درنظر گرفته شده که ۴ سال اول برای دوره واسنجی در حالت غیرماندگار و ۳ سال انتهایی برای صحت‌سنجی مدل در نظر گرفته شد. نتایج صحت سنجی مدل در نمودارهای مقایسه ای سطح آب محاسباتی و مشاهداتی شرایط قابل قبولی را با خطا کمتر از یک درصد نشان داد که این امر باعث اطمینان لازم به نتایج مدل را برای بکارگیری آن برای پیش‌بینی وضعیت آبخوان مهیا می کند، درخصوص پیش بینی افت سطح آب با فرض ثابت بودن تخلیه ، یک دوره ۶ ساله از سال ۹۷-۹۶ تا ۰۲-۱۴۰۱ در سه حالت نرمال، خشکسالی و ترسالی درنظر گرفته شد . با توجه به رابطه جریان آب زیرزمینی در آبخوان و آنالیز حساسیت پارامترهای مختلف در محیط مادفلو پارامتر هدایت هیدرولیکی آبخوان به عنوان مهمترین پارامتر جهت واسنجی مدل در حالت ماندگار انتخاب شد. براین اساس با توجه به مطالعات میدانی و آزمایشات پمپاژ مقادیر اولیه برای هدایت هیدرولیکی در آبخوان مشخص و وارد مدل شد. مقداردهی اولیه نشان داد که هر چه به پائین دست آبخوان نزدیک شده، میزان هدایت هیدرولیکی کاسته می گردد.

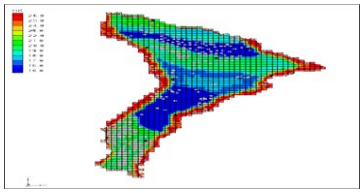
در مرحله واسنجی از دو روش سعی و خطا و روش اتوماتیک PEST استفاده شد. در روش اتوماتیک PEST مقادیر بدست آمده در مراحل ابتدایی تنها بکار برده شد و پس از طی دو مرحله نتایج واگرا گردید و ادامه واسنجی به این روش مقدور نبود. لذا از روش سعی و خطا جهت واسنجی استفاده شد. با توجه به مدل مفهومی آبخوان و در نظر داشتن بیلان منابع آب زیرزمینی در آبخوان قلعه لور واسنجی مدل انجام گرفت. شکل (۹) نتایج واسنجی پارامتر هدایت هیدرولیکی در آبخوان نشان می‌دهد. واسنجی مدل ماندگار آب زیرزمینی با تغییر در مقادیر هدایت هیدرولیکی بگونه‌ای انجام پذیرفت که حداقل خطای ممکن بین تراز آب زیرزمینی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برقرار باشد. مبنای خطای شبیه‌سازی در طول دوره مدلسازی اختلاف کمتر از ۵۰ سانتیمتر بین تراز آب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد که در مجموع خطای مدل کمتر از ۱ درصد می‌باشد. شکل (۷) میزان خطای مدل نهایی ماندگار را برای آبخوان قلعه لور نشان می‌دهد. نتایج تحلیل خطا حاکی از دقت مناسب مدل برای مدلسازی غیرماندگار دارد. این نتایج نشان می‌دهد که میانگین مجذور خطا یعنی اختلاف بین تراز آب زیرزمینی مشاهده شده با تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده در کلیه ۹ پیزومتر مدل کمتر از ۵۰ سانتیمتر است.



شکل(۷)تحلیل خطای مدل ماندگار در آبخوان دزفول-اندیمشک درآبخوان (K)

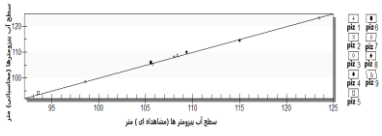


شکل(۸) مدل نهایی حالت ماندگار



شکل(۹) پهنه‌بندی مقدار هدایت هیدرولیکی واسنجی شده

کد اختصاصی	مختصات جغرافیایی UTM		تراز آب زیرزمینی مشاهده شده(m)	تراز آب زیرزمینی شبیه سازی شده(m)	اختلاف تراز آب (m)
	UTM X	UTM Y			
Pie-1	250657	3600119	108/03	108/26	-0/23
Pie-2	249087	3604737	123/47	123/26	0/2
Pie-3	250919	3592218	105/76	105/24	0/51
Pie-4	260150	3593013	115/03	114/46	0/56
Pie-5	248388	3579236	93/56	94/27	-0/71
Pie-6	248482	3598909	105/58	106/02	-0/44
Pie-7	251187	3584696	98/57	98/56	0
Pie-8	257839	3594492	109/35	109/95	-0/6
Pie-9	254978	3596711	108/38	108/75	-0/37



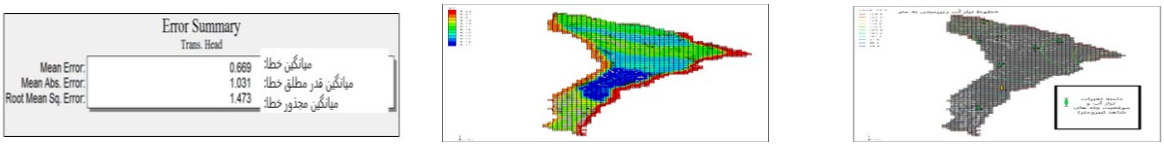
شکل(۱۰)تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی در حالت ماندگار شکل(۱۱)همبستگی مقادیر سطح آب مشاهده ای و محاسباتی چاههای مشاهده ای

اجرای مدل غیرماندگار

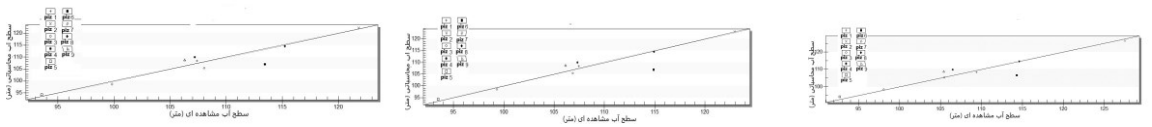
برای اجرای یک مدل غیرماندگار، انتخاب شرایط اولیه مدل بسیار حائز اهمیت می باشد. برای انتخاب شرایط اولیه می‌بایست ماه هایی را در نظر گرفت که کمترین میزان نوسانات اقلیمی دارد به عنوان مبنا جهت حل معادله دیفرانسیل حاکم بر جریان در نظر گرفت.شروع این ماه عموماً در شرایطی می‌باشد که منحنی تغییرات سطح ایستابی پیزومترها در کمترین نوسانات باشد، لذا براساس سری زمانی سطح آب پیزومترها ، ماهی که دارای نقطه عطف این سری زمانی باشد به عنوان شرایط اولیه مدل انتخاب گردید . مهرماه سال ۱۳۸۹ با قرار داشتن در نقطه عطف منحنی، بدلیل کامل بودن داده ها و همچنین نوسانات کم سطح آب در این ماه ودو ماه بعد (پس از کشت تابستانه و عدم برداشت آب از چاههای بهره برداری تا شروع کشت گندم)، و نزدیک بودن به بازه زمانی مورد مطالعه به عنوان بار هیدرولیکی اولیه به مدل وارد گردید. با توجه به محدود بودن آمار و تعریف شرایط اولیه در محدوده آبخوان قلعه لور یک دوره آماری ۷ ساله از بازه زمانی سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ تا ۹۶-۱۳۹۵ را به مدت ۸۴ گام زمانی ماهانه جهت مدلسازی آبخوان ، در نظر گرفته شد. به منظور اجرای دقیق مدل در حالت غیرماندگار، کلیه پارامترهای موثر در بیلان آب زیرزمینی در محدوده‌ی قلعه لور، براساس آمار موجود در آرشیو سازمان آب و برق خوزستان استخراج و بصورت سری زمانی وارد نرم افزار گردید. مدل در حالت غیرماندگار با توجه به کلیه پارامترهای ورودی تعریف شده اجرا گردید. به منظور اجرای یک مدل مناسب، ۴ سال اولیه برای دوره واسنجی (کالیبراسیون) در حالت غیرماندگار و ۳ سال انتهایی برای صحت‌سنجی مدل در نظر گرفته شده است.سپس از مدل اطلاعات دوره پیش بینی ازمهرماه سال ۱۳۹۶ تا مهر ماه ۱۴۰۲ به مدت ۷۲ ماه استخراج گردید.

واسنجی مدل در شرایط غیر ماندگار

واسنجی در حالت غی‌رماندگار، بر اساس مقادی‌ر ماهی‌انه نسبت به داده های روزانه و هفتگی ترجی‌ح داده می شود، زی‌را سی‌ستم های آب زی‌رزمی‌نی، غالباً با تاخی‌ر معی‌ن نسبت به تنش های سطحی واکنش نشان می دهند. به علاوه داده های ماهی‌انه تحلی‌ل صحی‌ح اثرات فصلی که در پی‌ش بی‌نی های دراز مدت مهم هستند را امکان پذی‌ر می سازد. از طرف دی‌گر برداشت از چاه های مشاهده ای در مقی‌اس ماهانه می باشد. در این نوع واسنجی، هدف تخمین آبدهی مخصوص (y_i) و تصحیح پارامترهای هیدروژئولوژیکی جریان در آبخوان در صورت لزوم می باشد. بنابرای‌ن با تغی‌ر دادن مقادی‌ر ضری‌ب ذخی‌ره مخصوص و آبدهی مخصوص در کنار پارامترهای هی‌دروژئولوژی‌کی جری‌ان واسنجی در حالت ناماندگار صورت پذی‌رفت که مبنای قبولی نتای‌ج مقدار خطا مش ه حالت ماندگار است که آنالی‌ز خطا در مدل غی‌رماندگار در شکل ۴) و همچنی‌ن مدل نهای‌ی اجرا شده در شکل ۲) ارائه شده است. با توجه به نتای‌ج مورد قبول در ارزی‌ابی مدل ناماندگار، پهن بندی آبدهی وی‌ژه واسنجی شده بصورت شکل ۳) ارائه شده است.



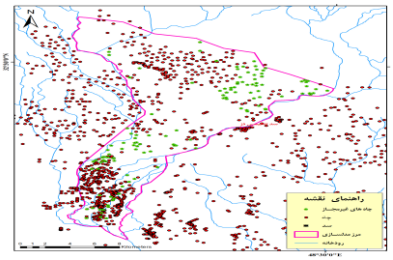
شکل(۱۲) مدل نهایی حالت غیرماندگار در آبخوان قلعه لور شکل (۱۳) ضریب آبدهی ویژه واسنجی شده در آبخوان قلعه لور شکل (۱۴) آنالیز پارامترهای مورد پذیرش واسنجی در حالت غیرماندگار



شکل(۱۷،۱۶،۱۵) همبستگی مقادیر سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی در پایان سال پنجم و ششم و هفتم مدلسازی

نتایج مدلسازی ضمن اینکه حاکی دقت مناسب نتایج شبیه سازی است، افت در کلیه چاه‌های مشاهده‌ای را در کل دوره نشان می‌دهد واسنجی مدل ماندگار جریان آب زیرزمینی با توجه به رابطه جریان آب زیرزمینی در آبخوان و آنالیز حساسیت پارامترهای مختلف در محیط MODFLOW پارامتر هدایت هیدرولیکی آبخوان به عنوان مهمترین پارامتر جهت واسنجی مدل در حالت ماندگار انتخاب شد. براین اساس با توجه به مطالعات میدانی و آزمایشات پمپاژ مقادیر اولیه برای هدایت هیدرولیکی در آبخوان مشخص و وارد مدل شد. مقداردهی اولیه نشان داد که هر چه به پائین دست آبخوان نزدیک شده، میزان هدایت هیدرولیکی کاسته می گردد.

در مرحله واسنجی از دو روش سعی و خطا و روش اتوماتیک PEST استفاده شد. در روش اتوماتیک PEST مقادیر بدست آمده در مراحل ابتدایی تنها بکار برده شد و پس از طی دو مرحله نتایج واگرا گردید و ادامه واسنجی به این روش مقدور نبود. لذا از روش سعی و خطا جهت واسنجی استفاده شد. با توجه به مدل مفهومی آبخوان و در نظر داشتن بیلان منابع آب زیرزمینی در آبخوان قلعه لور واسنجی مدل انجام گرفت.



شکل (۱۸) موقعیت چاه‌های غیرمجاز در منطقه طرح

نام چاه مشاهده‌ای	کد اختصاصی	افت دوره آتی بدون حذف چاه‌های غیرمجاز(m) (سال۹۸تا۹۶)	افت دوره آتی با حذف چاه‌های غیرمجاز(m) (سال۹۸تا۹۶)	افت در دوره پیش‌بینی بدون حذف چاه‌های غیرمجاز(m) (سال۰۲تا۹۶)	افت در دوره پیش‌بینی با حذف چاه‌های غیرمجاز(m) (سال۰۲تا۹۶)
بهشت آبادقلعه لور AN-39	Piz-1	0/8	0/5	7/8	5/1
پادگان کلهر AN-2	Piz-2	1/8	1/8	11/5	8/4
پمپ‌بنزین‌توتوچی AN-34	Piz-3	-2/2	-1/7	13/2	11/4
روستای چم گلنگ AN-6	Piz-4	-0/2	-0/1	4/0	2/3
شمال زاویه Dz-43	Piz-5	0/1	0/0	0/3	0
قلعه لور زیر گذر AN-37	Piz-6	-2/8	-2/9	19/2	15/2
کلوبیش باد Dz-42	Piz-7	-1/2	-1	7/0	5/1
مجاور جاده سد AN-5	Piz-8	2/3	1/5	14/6	12/3
مرغداری نوید AN-36	Piz-9	2/2	1/2	13/4	6/8

شکل(۱۹) میزان افت آب زیرزمینی در شبکه چاه‌های مشاهده‌ای(متر)

بررسی نتایج شبیه‌سازی تا سال ۱۴۰۲ در شرایط حذف چاه‌های غیرمجاز در آبخوان نشان می‌دهد که تراز آب زیرزمینی و میزان افت آبخوان بهبود داشته است. بیشترین میزان بهبود تراز آب زیرزمینی در دوره آتی در چاه مشاهده‌ای مرغداری نوید به میزان یک متر مشاهده شد. بررسی نتایج شبیه‌سازی در دوره پیش بینی نیز نشان می‌دهد که بیشترین میزان بهبود تراز آب زیرزمینی و افت آبخوان در همین چاه مشاهده‌ای، خواهد بود . بررسی کلی نتایج پیش بینی آبخوان نشان میدهد که حذف بهره‌برداری از چاه‌های غیرمجاز باعث بهبود وضعیت کمی آبخوان خواهد شد و روند افت ابخوان با شیب کمتری ادامه خواهد داشت.

نتیجه گیری

براساس آمارهای موجود در دفاتر سازمان آب و برق خوزستان ۷۵۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق در محدوده مدل شناسایی شده که با حجم برداشت ۸۲/۲ میلیون متر مکعب در سال (MCM) در حال بهره‌برداری جهت مصرف کشاورزی، شرب و بهداشت و صنعت فعال می‌باشند که تعداد ۱۳۵ حلقه چاه فاقد هرگونه مجوز رسمی هستند. در مجموع بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بصورت غیرمجاز حدود ۱۱ میلیون مترمکعب درسال می باشند. بررسی شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان نشان می‌دهد که تراز آب زیرزمینی در این آبخوان در حال افت بوده و یکی از مهمترین عوامل در افت آبخوان بهره‌برداری بیش از توان آبخوان است. در این شرایط بازه عدم قطعیت تراز آب زیرزمینی در دوره ۶ ساله حاکی از افزایش اختلاف با افزایش زمان شبیه‌سازی بود. همچنین بررسی حذف چاه‌های غیرمجاز از مدل جریان آب زیرزمینی نشان داد که وضعیت آبخوان بهبود نسبی خواهد داشت و این موضوع در بخش غربی آبخوان که بیشتر تحت تاثیر جریانات زیرزمینی ورودی به آبخوان و شبکه جریان بهره‌برداری قرار دارد بیشتر نمایان است. بررسی وضعیت کلان آبخوان نشان می‌دهد که افت سطح آب زیرزمینی در حال ادامه است که این موضوع می‌تواند در سالهای بحران خشکسالی باعث بوجود آمدن مسائل و مشکلاتی برای معیشت ساکنان محدوده، مسائل زیست محیطی، کشاورزی و دامپروری و شرب و بهداشت شود.

قدردانی

از مدیریت مطالعات سازمان آب و برق خوزستان بابت در اختیار قراردادن اطلاعات مورد نیاز این تحقیق کمال تشکر را داریم.

منابع

[1].Adhikari, C. (2003). A GIS - Remote Sensing compatible rainfall-surface runoff model for regional level planning, Map India Conference
[2].Allison, G.B., Gee, G.W., and Tyler, S.W. (1994). Vadose zone techniques for estimating groundwater recharge in arid and semiarid regions, Soil Science Society of America Journal, 58(1), pp.6-14.
[3].Anderson, M. P., & Woessner, W. W. (1992). Applied groundwater modeling-simulation of flow and advective transport. San Diego: Academic. Press, Inc.

[4].Anderson, M. P., and W. W. Woessner. (1992). Applied Groundwater Modeling, Simulation of Flow and Advective Transport. San Diego: Academic Press, Inc.
[5].Anuraga, T.S., Ruiz, L., Mohan Kumar M.S., Sekhar, M., Leijnse, A. (2006). Estimating groundwater recharge using land use and soil data: A case study in South India. Agricultural water management (84) 65 – 76
[6].Batelaan, O., De Smedt, F. (2007). GIS-based recharge estimation by coupling surface–subsurface water balances, Elsevier B.V.
[7]. Tavalainejad, M. Rengzen, k.chrchi, A. Hatef, M.R. (2001). Investigation of Izeh plain balance and the role of tectonics in the hydraulic relationship of inter-basin aquifers, Groundwater Studies Unit, General Department of Water Affairs of Khuzestan Province. (In Persian)
[8]. Chit Sazan, M. Pirhadi, A. (1999). Ramhormoz Plain Water Resources Management Using Mathematical Model, Third Conference of Iranian Geological Society, Shiraz, 1999. (In Persian)
[9]. Chit Sazan, M. Tavassoli Kajani, M. (1998). Management of water resources of Mahyar Shamali plain using mathematical model, the second conference of the Geological Society of Iran, Mashhad, 1998(In Persian)

Abstract

Groundwater abstraction from water resources plains will be in crisis in the future if not managed now. In this regard, the purpose of this study is to model the Qaleh Lor aquifer in Andimeshk city in Khuzestan province and to predict the reaction level of the aquifer drop in the face of control conditions and eliminate the operation of unlicensed wells. For this purpose, after collecting the data required for hydraulic simulation of the aquifer, features in line, point and polygon format in separate coatings compatible with the Modflow program environment and GMS graphical interface for preprocessing and post-processing. Model input and output data were selected. After importing the mentioned files into the program, the current state of the simulation aquifer was estimated quantitatively. 9 observational wells (piezometric) were considered as control points for calibration and validation of aquifer water level drop. In order to simulate the trend of aquifer decline over time, water level statistics were collected with 84 time steps (monthly). For accepting computational and observational figures, 48 months for calibration period and 36 months validation period by dividing time into two stages of the first 4 years. The model was performed for calibration period in unsteady state and the last 3 years of time validation. Then, to predict the status of aquifer decline, the scenario of aquifer decline in the face of four situations: in the first case, the rate of decline in the future control period with the removal of unauthorized wells, in the second case, the rate of decline in the future control period without removal of unauthorized wells; In the aquifer prediction period in the condition of removal of unauthorized wells and in the fourth case the rate of decrease in the aquifer prediction period without the removal of unauthorized wells is simulated. The study of removing unauthorized wells from the groundwater flow model showed that the condition of the aquifer will have a relative improvement, and this issue is more evident in the western part of the aquifer, which is mostly affected by the groundwater flow entering the aquifer and operation network. Examining the macro status of the aquifer by removing unauthorized wells shows that the groundwater level drop is relatively improved and the continuous slope of the aquifer drop decreases. This can cause problems for water shortages and livelihoods in the critical years of drought, as well as environmental, agricultural, livestock, drinking and health issues.

Keywords: Dezful Andimeshk Plain, Groundwater, Modflow, GMS, Optimization, Lore Andimeshk Castle