فایل موقت قبل از تأیید نهایی نویسنده

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره نهم، پاییز ۱۳۹۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۵/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۴/۱۹

صفحات: ۱۳۲-۱۱۳

افت سطح آب زیرزمینی و شیوه برداشت جبران‌گر در آبخوان دشت الشتر استان لرستان

ناصر اسدی[۱]*، مراد کاکی[۲]، رضا جمور[۳]

چکیده

منطقه مطالعاتی (دشت الشتر)، به فاصله حدود ۵۲ کیلومتری از شهرستان خرم‌آباد (مرکز استان لرستان)، در سمت شمال‌غرب آن قرار دارد. برداشت بیش از حد از آب¬های زیرزمینی در سال‌های اخیر، باعث افت سطح آب زیرزمینی و ایجاد زمینه بروز برخی مخاطرات به‌خصوص برای منابع آب زیرزمینی شده است. در این پژوهش، میزان افت سطح آب زیرزمینی در دشت مذکور با استفاده از هیدروگراف واحد دشت در طول دوره آماری سال‌های ۸۸-۱۳۸۱ معادل ۴ متر برآورد شد. همچنین، به‌منظور تعیین مناطق بحرانیِ دچار افت و شبیه‌سازیِ واکنش‌های سامانه‌ی آب زیرزمینی به برداشت آب در آینده تحت شرایط مختلف، مدل ریاضی آبخوان تهیه گردید. سپس از طریق تلفیق مدل ریاضی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جریان آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار «جی ام اس» شبیه‌سازی شد. نتایج پیش‌بینی سطح آب توسط مدل، برای دوره پنج‌ساله بعدی نشان می‌دهد که در پایان دوره مورد پیش¬بینی، میزان افت، حدود ۳/۵ متر افزایش خواهد یافت. درنهایت، راهکارهایی جهت مدیریت آبخوان از طریق تعدیل برداشت به‌منظور جبران افت آبخوان، با توجه به ملاحظات اقتصادی ارائه گردید و با کمک نرم‌افزار «جی دبلیو ام» مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به ملاحظات هیدرولیکی و اقتصادی ارائه گردید و با کمک نرم‌افزار «جی دبلیو ام» مورد ارزیابی قرار گرفت. تأمین میزان کسر آب مورد نیاز، از طریق چاه‌های پیشنهادی جایگزین در خارج از مناطق دارای افت شدید انجام خواهد گرفت.

واژگان کلیدی: سامانه اطلاعات جغرافیایی، مدل ریاضی، مدل شبیه‌سازی، مدیریت آبخوان، منابع آب.

[۱]- دکترای هیدروژئولوژی، استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان naserasadi@scicience.usb.ac.ir

[۲]- کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، اداره امور آب شهرستان کوهدشت morad.kaki65@yahoo.com

[۳]- کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، شرکت ری‌آب reza.jamoor@yahoo.com

مقدمه

کشور ایران از نظر عرض جغرافیایی در کمربندی از کره زمین واقع شده است که اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان در آن قرار دارند (علیزاده، ۱۳۸۸). کمبود بارش در بسیاری از مناطق کشور باعث محدودیت و نبود آب‌های مناسب سطحی شده است (کردوانی، ۱۳۸۷).

از طرفی رشد جمعیت، بالاتر رفتن سطح کیفی زندگی و توزیع نامتعادل زمانی و مکانی آب‌های سطحی، باعث روی آوردن بشر به استفاده بیشتر از آب‌های زیرزمینی و استخراج آن‌ها از طریق چاه‌های عمیقی شده است که می‌توان از طریق آن‌ها تمامی آب‌های ثقلی یک مخزن را استخراج کرد (ولایتی، ۱۳۸۳). آمارها نشان می‌دهد که حدود ۶۵ درصد از جمعیت دنیا از نظر آب شرب متکی به آب‌های زیرزمینی می‌باشند (محمودیان‌شوشتری، ۱۳۸۹)؛ چرا که به طور کلی ۹۷/۲ درصد از کل آب‌های کره زمین در اقیانوس‌ها و دریاهاست (فتر[1]، ۲۰۰۱).

نیاز به آب‌های زیرزمینی در دهه‌های اخیر منجر به توسعه استراتژی‌های گوناگون برای مدیریت منابع آب سطحی و استفاده مناسب از آب‌های زیرزمینی شده است (تاد و میز[2]، ۲۰۰۵). وقوع کاهش در بارندگی‌ها و برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر، باعث ایجاد مخاطرات و پیامدهای منفی زیادی از جمله افت مستمر سطح آب زیرزمینی، افزایش هزینه پمپاژ، افزایش تدریجی املاح آب، نشست زمین و ایجاد شکاف در سطح آن و تغییر ساختار آرایش دانه‌های رسوب آبخوان و به تبع آن، کاهش ضریب ذخیره در آبخوان‌های تحت فشار شده است (ولایتی، ۱۳۸۷).

از جمله راهکارهای مدیریتی مبارزه با مشکل کم آبی، استفاده بهینه از منابع و افزایش بهره‌وری است. در بحث مدیریت منابع آب زیرزمینی که منجر به اتخاذ و اجرای تصمیمات مدیریتی در زمینه‌های کیفی و کمی بر روی آبخوان می‌شود؛ ابزاری مورد نیاز است تا اطلاعات کاملی را در مورد عکس‌العمل‌های سامانه‌ی آب زیرزمینی نسبت به اجرای تصمیمات مدیریتی در اختیار مدیران و تصمیم‌گیرندگان قرار دهد.

یکی از ابزارهای مدیریتی جدید که می‌توان از آن در حل مشکلات آبخوان استفاده کرد؛ مدل ریاضی می‌باشد. یک مدل، ابزاری طراحی شده به عنوان ارائه ساده‌ای از یک واقعیت است (ونگ و اندرسون[3]، ۱۹۹۵). مدل در واقع واکنش‌های طبیعی یک سامانه‌ی آب زیرزمینی را تحت شرایط مختلف، شبیه‌سازی می‌کند (محمودیان‌شوشتری، ۱۳۸۹).

همان‌طور که بیان شد؛ در زمینه مطالعات آب زیرزمینی تحقیقات فراوانی انجام شده است که در اینجا تنها به تعداد معدودی از تحقیقات انجام شده در زمینه مطالعات سطح آب زیرزمینی به ویژه مطالعات انجام شده بر اساس مدل‌سازی در سطح جهان و ایران اشاره می‌گردد.

---

[1] Fetter
[2] Todd & Mays
[3] Wang & Anderson

یانگ[1] و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از ترکیب آنالیز کیفی آبهای زیرزمینی و سطحی و مدل ریاضی جریان آب زیرزمینی در دشت پینگ‌تونگ[2] در تایوان در شش منطقه، مکان‌های مناسبی جهت استفاده از آبهای سطحی به جای آب‌های زیرزمینی پیشنهاد نمودند. حسین‌سربازی و اسماعیلی (۱۳۹۲) در تحقیقات خود بر روی آبخوان دشت نیشابور با استفاده از نرم افزار ویژوال مادفلو[3] به این نتیجه رسیدند که سطح آب این آبخوان بیش از اندازه افت کرده و با ادامه روند برداشت از منطقه، کمیت و کیفیت آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند. ایشان همچنین با بررسی نقشه هم ارتفاع سنگ کف به این نتیجه رسیدند که بستر آبخوان از پستی و بلندی‌های زیادی برخوردار است. فرناندز[4] و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیق خود در سازندهای آهکی یک معدن روباز در اسپانیا با استفاده از مدل سازی سطح آب در محدوده مورد مطالعه، زون‌های دارای نفوذپذیری بالا را که عموماً مربوط به مناطق دارای شکستکی فراوان می‌باشد را مشخص نموده و جهت بهره‌برداری از معدن مذکور بدون وجود مزاحمت آب زیرزمینی، سه سناریو را پیشنهاد نمودند. پرهیزکار[5] و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی‌های خود در دشت دامغان با استفاده از نرم‌افزارهای «جی‌ام‌اس[6]» و «جی‌ای‌پی[7]» به بررسی ارتباط نشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در این دشت، سطح آب زیرزمینی در حال پایین آمدن و میزان نشست زمین در حال افزایش می‌باشد؛ لذا پمپاژ از نواحی با خطر بالا باید کاهش داده شود. جعفری[8] و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقات خود در بر روی آبخوان دشت ساوه به بررسی نشست زمین و افت سطح آبزیرزمینی پرداختند. ایشان با استفاده از مدل‌سازی، تراز سطح آب زیرزمینی را مورد بررسی قرار داده و نتایج را با نتایج حاصل از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای مقایسه نمودند. نتایج استفاده از هر دو روش نشان می‌دهد که نشست سطح زمین در این منطقه وجود دارد. نتایج کالیبره نمودن مدل، نشان می‌دهد که با ادامه روند برداشت آب زیرزمینی از آبخوان ساوه طی ۵ سال آینده ۱۷۵ سانتی‌متر نشست در سطح زمین رخ خواه داد. محمد[9] و همکاران (۲۰۱۶) آبخوانی در شمال شرقی امارت متحده عربی را مورد بررسی قراردادند. ایشان مدل آب زیرزمینی محدوده مورد نظر را تهیه و در حالت پایدار برای سال ۱۹۶۹ و در حالت ناپایدار نیز برای دوره ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۶ کالیبره نمودند و جهت واسنجی از اطلاعات حال حاضر آبخوان استفاده نمودند. ایشان همچنین مدل را برای پیش بینی سال ۲۰۳۵ تهیه نمودند. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که نرخ فعلی بهره‌برداری از آبخوان قابل قبول نبوده و باعث افت شدید سطح آب می‌شود و نیاز است که جهت جلوگیری از این افت ۲۵ درصد از برداشت فعلی کاسته شود. رُی[10] و همکاران (۲۰۱۴) در دشتی در هند به بررسی وضعیت آب

[1] Jang
[2] Pingtung
[3] VISUAL MODFLOW
[4] Fernandez
[5] Parhizkar
[6] GMS
[7] GEP
[8] Jafari
[9] Mohamed
[10] Roy

زیرزمینی در مقابل تغییرات جریان آب سطحی پرداختند. جهت این کار، ابتدا با پیمایش‌های صحرایی، یک‌سری مناطق که دارای نفوذپذیری متوسط و ضخامت حداکثر بود را جهت انجام آزمایش پمپاژ انتخاب کرده و خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان را تعیین نمودند. ایشان سپس مدل آب زیرزمینی منطقه را تهیه و تأثیر پمپاژ، نفوذ از بارندگی و تغییر در وضعیت رودخانه را بررسی نمودند. قبادیان و همکارن (۱۳۹۲) جهت شناخت و مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت میان دربند کرمانشاه از مدل ریاضی و رابط کاربری «جی‌ام‌اس» استفاده نمود. مقایسه تراز سطح آب محاسبه شده توسط مدل ساخته شده با تراز سطح آب در پیزومترها نشان داد که ضریب نکویی برازش برابر ۰/۹۹۶۸ می‌باشد. اسدی و فتحی (۱۳۹۱) نیز با استفاده از مدل ریاضی مادفلو منابع آبهای زیرزمینی دشت همدان - بهار را مدل سازی و از نتایج به دست آمده جهت پیش بینی و بهینه سازی منابع آب زیرزمینی سیستم آبخوان استفاده نمودند. جباری و همکاران (۱۳۸۷) جهت مدیریت بهره‌برداری آبخوان دشت ساری– نکا، از مدل ریاضی مادفلو استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل تراز سطح آب را با دقت قابل قبولی شبیه سازی نموده و قادر به مدل کردن جریان آب زیرزمینی در آبخوان مذکور با ماهیت پیچیده اش می‌باشد. ایشان همچنین مجموعه‌ای از برنامه‌ریزی و طراحی را توسط بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی آبخوان مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. از دیگر مطالعات مشابه می‌توان به تحقیقات بن‌فو[1] و همکاران (۲۰۱۵)، بویس[2] و همکاران (۲۰۱۵)، و الغنی[3] (۲۰۱۵) اشاره نمود.

مرور مطالعات، تحقیقات و کارهای صورت گرفته در زمینه‌ی مدل‌سازی نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر، برای شناسایی، مدیریت و حل بسیاری از مشکلات کمّی و کیفی به وجود آمده برای آب‌های زیرزمینی از مدل ریاضی استفاده شده است. همچنین مرور سوابق گذشته انتخاب کد مادفلو را برای انجام تحقیق توجیه کرده و نشان از به روز بودن این کد و توانایی بالا و قابل قبول آن جهت شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سامانه آب‌های زیرزمینی می‌باشد. از آنجایی که آبخوان دشت الشتر با افت سطح آب زیرزمینی مواجه شده است، به نظر می‌رسد برای تحقق اهداف این تحقیق که شامل شناخت دقیق آبخوان، جبران افت و مدیریت علمی برداشت آب در حال و آینده می‌باشد؛ استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز – بهینه‌ساز ابزاری کارآمد باشد.

داده‌ها و روش‌ها

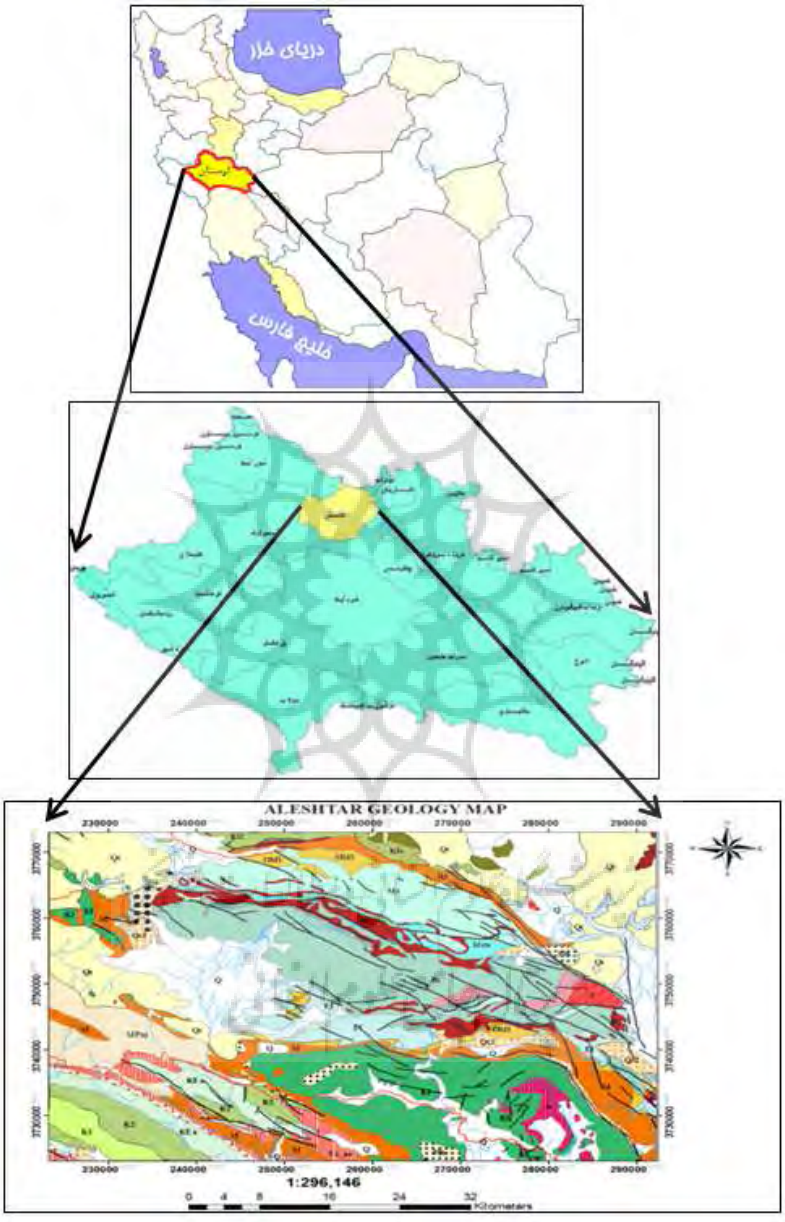
زمین‌شناسی و هیدرولوژی منطقه

دشت الشتر، در غرب ایران در شمال غربی شهرستان خرم‌آباد و با فاصله حدود ۵۲ کیلومتر از آن قرار دارد (شکل ۱). وسعت محدوده مطالعاتی، ۱۱۰ کیلومتر مربع می‌باشد (گزارش سالیانه دشت الشتر، ۱۳۹۰). این منطقه، بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵ دقیقه شمالی و طول‌های شرقی ۴۸ درجه و ۲ دقیقه تا

[1] Bin Wu
[2] Boyce
[3] Elghany

۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه گسترده شده است. منطقه‌ی مورد مطالعه، بخش کوچکی از زون زاگرس بوده و بیشتر به زون مرتفع یا رورانده نزدیک و از زون چین‌خورده فاصله می‌گیرد. از نظر زمانی، قدیمی‌ترین سازند شناخته شده در منطقه‌ی مورد مطالعه، مجموعه‌ی رادیولاریتی ژوراسیک است که روی آن‌ها آهک‌های سفید رنگ و همچنین آهک‌های آلیتی مزوزوئیک متعلق به دوران دوم قرار گرفته است که همه در زون خرد شده‌ی زاگرس واقع می‌باشند. آبرفت‌های کهن و پادگانه‌ها یا تراس‌های بلند متعلق به دوره‌ی کواترنر و آبرفت‌های جوان که تشکیل آبخوان‌های آبرفتی را می‌دهند نیز جوان‌ترین تشکیلات منطقه می‌باشند. متوسط بارندگی سالانه‌ی این محدوده در یک دوره‌ی شاخص ۳۵ ساله (۱۳۴۵ – ۱۳۸۰)، ۵۵۴ میلی‌متر بوده است (گزارش هواشناسی الشتر، ۱۳۸۲). متوسط بارش در محدوده‌ی مطالعاتی الشتر طی سال‌های اخیر (۸۷–۱۳۸۰)، حدود ۴۷۱ میلی‌متر است که نشان‌دهنده‌ی کاهش بارندگی در سال‌های اخیر می‌باشد. محدوده‌ی مطالعاتی الشتر از نظر هیدرولوژیکی، شامل حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی الشتر تا محل الحاق به رودخانه‌ی هررود می‌باشد که از دامنه‌های جنوبی رشته ارتفاعات گرین سرچشمه گرفته است(گزارش هیدرولوژی دشت الشتر، ۱۳۸۲). با توجه به نتایج حاصل از حفاری چاه‌های بهره‌برداری، پیزومترها و چاه‌های اکتشافی، به طور کلی سفره‌ی اصلی دشت آبرفتی الشتر از نوع آزاد بوده و از رسوبات آبرفتی تشکیل شده است (گزارش هیدروژئولوژی دشت الشتر، ۱۳۸۲).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (*گزارش هیدروژئولوژی دشت الشتر، ۱۳۸۲*)

مدل مفهومی آبخوان

مدل مفهومی تهیه شده، پایه و اساس کار مدل‌سازی می‌باشد و صحت نتایج نهایی مدل و تطابق آن با واقعیت‌های صحرایی بستگی زیادی به دقت و صحت مدل مفهومی دارد. از جمله ویژگی‌هایی که در تبیین و شناخت آبخوان

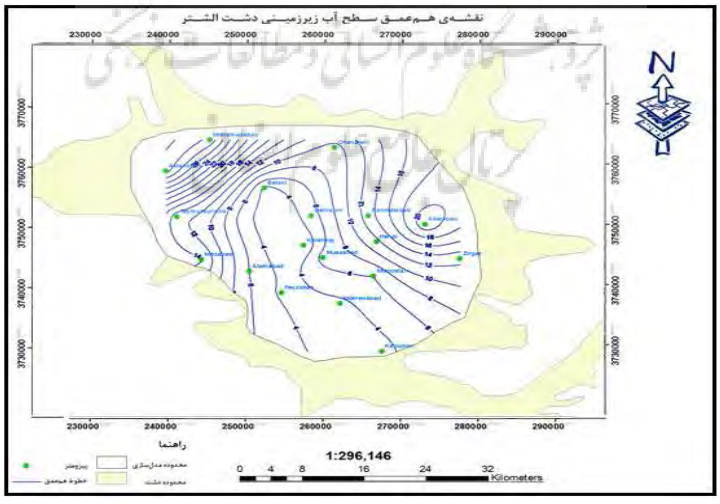
جهت طراحی و ساخت مدل مفهومی به کار گرفته می‌شوند؛ عمق آب در محدوده‌ی آبخوان، شکل هندسی آبخوان، بیلان آب زیرزمینی و مؤلفه‌های اصلی آن و ضرایب هیدرودینامیکی می‌باشد.

ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان: ضریب ذخیره و قابلیت انتقال آبخوان از آزمایش‌های پمپاژ صورت گرفته بر چاه-های اکتشافی و پیزومترهای مرتبط با آن‌ها استخراج شده‌اند که اطلاعات مربوط به این آزمون‌ها در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

منحنی‌های هم‌عمق آب زیرزمینی: داده‌های لازم برای رسم منحنی‌های هم‌عمق آب زیرزمینی، عمق آب از سطح زمین می‌باشد که با استفاده از اندازه‌گیری سطح آب در پیزومترهای موجود در منطقه ثبت شده‌اند. نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی دشت الشتر بر اساس آمار سالیانه عمق آب رسم شده است (شکل ۲).

جدول ۱: ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان دشت الشتر در محل چاه‌های اکتشافی (*گزارش هیدروژئولوژی دشت الشتر، ۱۳۸۲*)

چاه اکتشافی	ضریب ذخیره	ضریب انتقال (مترمربع بر روز)
رضاآباد	۰/۱	۱۵۶۰
دهرام	۰/۱	۱۱۰۰
کهریز	۰/۶	۸۴۰
جهان‌آباد	۰/۱۴	۹۹۰

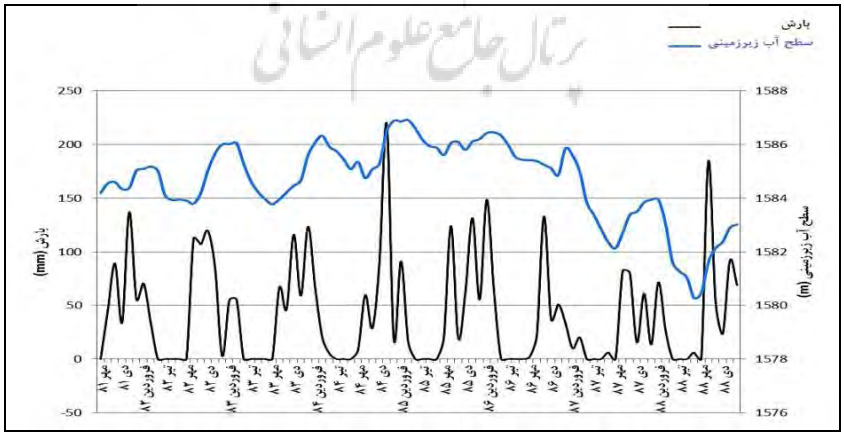


شکل ۲: نقشه هم‌عمق آب سطح زیرزمینی دشت الشتر

هیدروگراف واحد دشت و شناسایی ماه پایه: هیدروگراف چاه، تغییرات سطح آب چاه را در مدت زمان‌های مشخص نشان می‌دهد. هیدروگراف واحد یا متوسط، معرف لایه آبدار منطقه است. بنابراین منظور از هیدروگراف واحد، هیدروگرافی است که به کمک کلیه هیدروگراف‌های چاه‌های اکتشافی منطقه تهیه می‌شود (شمسایی، ۱۳۷۶). بنابراین با استفاده از آمار تراز آب در دوره‌ی آماری ۸۸-۱۳۸۱، و محاسبه مساحت تحت تأثیر هر پیزومتر، تغییرات متوسط عمق آب (افت معادل ۴ متر در طول این دوره آماری) به دست آمد. (شکل ۳).

تعیین مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی: برای محاسبه بیلان هر منطقه باید مقدار آب ورودی به منطقه و خروجی از آن را محاسبه کرده و بر اساس آن‌ها تغییر در مقدار آب ذخیره را شناسایی کرد. جدول ۲ مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. تعداد ۱۸ چشمه و ۲۱۸ حلقه چاه بهره‌برداری فعال در محدوده مدل‌سازی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. با توجه به اقلیم منطقه و پوشش سطح زمین، میزان تغذیه از طریق ریزش‌های جوی در منطقه الشتر ۱۵ درصد میانگین بارندگی سالانه تخمین زده شد. میزان برگشت آب از چاه‌ها و چشمه‌های کشاورزی معادل ۲۰ درصد تخلیه آن‌ها، و از چاه‌های شرب و صنعت، با توجه به نوع دفع پساب و نوع صنعت به ترتیب ۷۰ و ۶۰ درصد تخلیه آن‌ها تخمین زده شده است (شمسایی، ۱۳۸۳؛ گزارش مدل‌سازی دشت الشتر، ۱۳۸۲) مقدار تغذیه از ورودی آب زیرزمینی و رودخانه نیز بر اساس هدایت هیدرولیکی آبخوان و وضعیت بستر رودخانه و سطح آب آن نسبت به سطح آب زیرزمینی وارد مدل شده است.

تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی به عمق سطح آب، نوع بافت خاک، درجه حرارت محیط، پوشش گیاهی، رطوبت نسبی و غلظت املاح آب بستگی دارد و هر چه سطح آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیک‌تر باشد؛ مقدار تبخیر از آب زیرزمینی بیشتر می‌شود. بر این اساس با توجه به نقشه هم‌عمق سطح آب زیرزمینی (شکل ۲) تبخیر آب زیرزمینی در محدوده آبخوان الشتر بیشتر در نواحی مرکزی و جنوبی رخ می‌دهد.



شکل ۳: هیدروگراف واحد آبخوان دشت الشتر و تغییرات سطح آب زیرزمینی و بارش

جدول ۲: مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی

مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی	**مؤلفه‌های تغذیه**	تغذیه از طریق بارندگی
		تغذیه از طریق آب برگشتی چاه‌های تخلیه
	مؤلفه‌های تخلیه	چاه‌های بهره‌برداری
		تبخیر
		چشمه‌ها

وضعیت هندسی آبخوان: وضعیت هندسی آبخوان تعریف کننده‌ی اندازه و شکل مدل است. اطلاعات مربوط به سنگ کف آبخوان الشتر از تلفیق داده‌های حاصل از مطالعات ژئوفیـزیکی و داده‌های مربوط به چاه‌های اکتشافی فراهم شـد. اطلاعات مربوط به توپوگرافی سطحی آبخوان که در واقع مرز بالایی آبخوان را تشکیل می‌دهد؛ با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰۰ و ۱/۵۰۰۰۰۰ به دست آمد.

شرایط مرزی[1]: عموماً در اکثر پروژه‌های مدل‌سازی آب زیرزمینی ترجیح داده می‌شود که مرزهای خارجی مدل، به صورت مرزهای فیزیکی واقعی باشند (کرسیک،۱۳۸۱). علاوه بر مرزهای فیزیکی فاقد جریان، نوع دیگر شرایط مرزی تعریف شده برای این پروژه، مرز با بار آبی عمومی می‌باشد که برای شبیه‌سازی نقاط ورودی و خروجی استفاده شده است.

شرایط اولیه[2]: شرایط اولیه از دو نظر مکانی و زمانی در مدل‌سازی تعریف می‌گردد. در شرایط پایدار باید بارهای هیدرولیکی در سلول‌های با بار هیدرولیکی ثابت، مقادیر واقعی باشند. از همین رو بار اولیه وارد شده به مدل در شرایط پایدار، بار هیدرولیکی آبخوان در یک ماه پایدار با کم‌ترین تغییرات می‌باشد. بر همین اساس آمار سطح آب در آبان ۱۳۸۶ به عنوان مقادیر بار اولیه در شرایط پایدار وارد مدل گردید. همچنین جهت جلوگیری از ایجاد خطا، از بارهای هیدرولیکی به دست آمده از واسنجی حالت پایدار، به عنوان شرایط اولیه برای حالت ناپایدار استفاده شد.

تهیه مدل ریاضی: پس از ساخت مدل مفهومی، مدل ریاضی منطقه تهیه می‌گردد. در این تحقیق برای بیان مدل مفهومی ساخته شده در قالب معادلات ریاضی، از میان روش‌های مختلف، حل عددی به شیوه تفاضل محدود استفاده شده است.

انتخاب کد رایانه‌ای: پس از تبیین مدل ریاضی یک کد رایانه‌ای که شامل الگوریتمی جهت حل دستگاه معادلات مدل ریاضی به روش‌های مختلف، می‌باشد؛ انتخاب می‌گردد. در این تحقیق جهت حل معادلات از کد رایانه‌ای مادفلو استفاده شده است.

[1] Boundary Conditions
[2] Initial Conditions

طراحی مدل عددی در نرم‌افزار «جی ام اس»: این مرحله شامل گام‌های اصلی می‌باشد:

انتخاب دوره‌های تنش و گام‌های زمانی: انتخاب دوره‌ی تنش مناسب با داشتن یک دوره آماری طولانی و رسم هیدروگراف واحد آب زیرزمینی امکان‌پذیر می‌باشد. در این تحقیق، از یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۵۹) مربوط به عمق سطح آب استفاده شده است. برای شرایط پایدار، آبان ماه سال ۱۳۸۶ و برای دوره ناپایدار نیز دوره تنش به صورت ۱۲ دوره‌ی یک ماهه (آذر ۱۳۸۶ تا آبان ۱۳۸۷) به مدل معرفی شده است.

شبکه‌بندی محدوده‌ی مدل‌سازی: شبکه‌بندی منطقه‌ی مدل، اولین نقطه‌ی شروع در طراحی واقعی مدل رایانه‌ای است (کرسیک، ۱۳۸۱). با توجه به اطلاعات موجود درباره آبخوان، برای این تحقیق سلول‌هایی با ابعاد ۲۰۰ متر برای شبکه‌بندی انتخاب گردید.

تعریف لایه‌های اطلاعاتی مدل بر اساس مدل مفهومی: تهیه و ساخت هر یک از لایه‌های مدل مفهومی به شرایط آبخوان، منابع آبی موجود، و سلیقه مدل‌ساز بستگی دارد. شکل ۴، لایه‌های اطلاعاتی مختلف را نشان می‌دهد.

لایه محدوده‌ی آبخوان: شامل محدوده‌ای از دشت می‌باشد که مدل‌سازی خواهد شد.

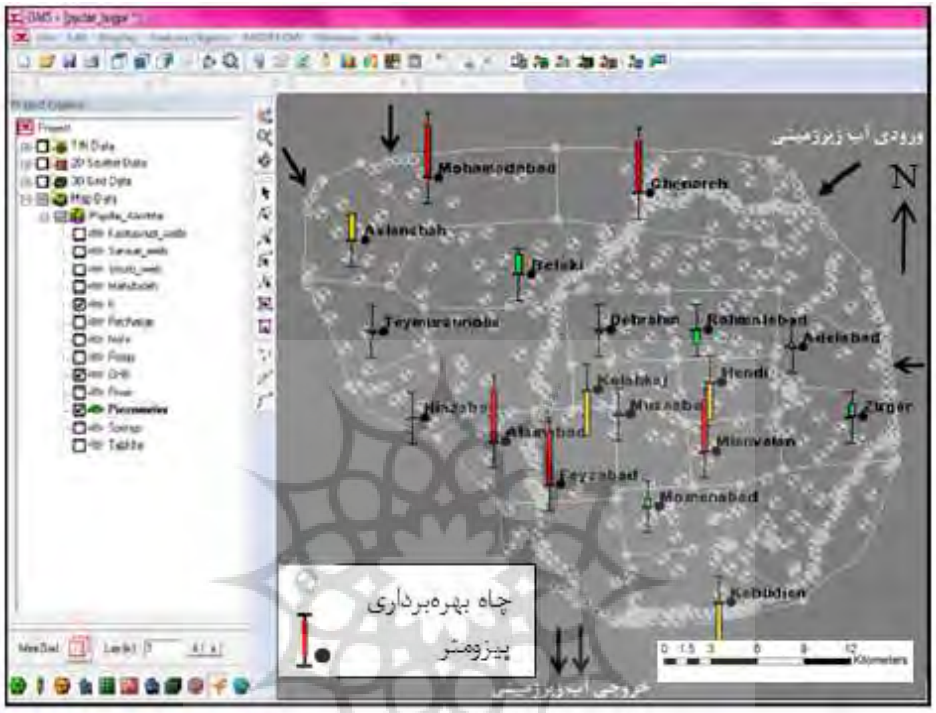
لایه‌ی چاه‌های پیزومتری: شامل تراز آب ثبت شده در ۱۸ پیزومتر سالم موجود در محدوده‌ی مدل برای شرایط پایدار (آبان ۱۳۸۶) و ناپایدار (آذر ۱۳۸۶ تا آبان ۱۳۸۷)، می‌باشد.

لایه‌ی اطلاعاتی چاه‌ها: شامل میزان تخلیه خالص چاه‌های موجود در محدوده‌ی مدل آبخوان الشتر برای دو شرایط پایدار و ناپایدار است.

لایه‌ی رودخانه: جهت تأثیر تغذیه‌ی ناشی از ورود آب رودخانه به آبخوان، رودخانه با تعداد ۱۴۸ حلقه چاه فرضی جایگزین گردید.

لایه‌ی تغذیه: در حالت پایدار، مقادیر مربوط به بارش‌های جوی در آبان ۸۶ (ماه پایدار)، به عنوان داده‌های اولیه برای ایجاد این لایه استفاده گردید. در حالت ناپایدار نیز میزان تغذیه از این طریق برای یک دوره‌ی دوازده ماهه (آذر۱۳۸۶ تا آبان ۱۳۸۷) محاسبه و به مدل وارد گردید.

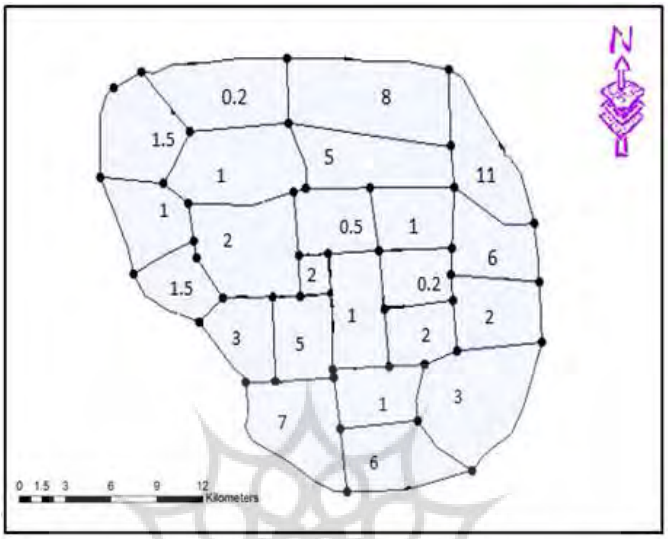
لایه‌ی تبخیر: میزان تبخیر از سطح آبخوان در دوره‌ی پایدار، میزان تبخیر طی آبان‌ماه ۱۳۸۶ و در دوره‌ی ناپایدار، میزان تبخیر طی ماه‌های مختلف (آذرماه ۱۳۸۶ تا آبان‌ماه ۱۳۸۷) محاسبه و به مدل وارد گردید.



شکل ۴: لایه‌های اطلاعاتی مختلف مدل بر اساس مدل مفهومی آبخوان

لایه شرایط مرزی: مرزهایی که شرایط مرزی آبخوان را تشکیل داده‌اند؛ شامل مرزهای جانبی، مرزهای فوقانی و مرزهای تحتانی آبخوان می‌باشند.

لایه‌ی هدایت هیدرولیکی: برای تهیه این لایه، از اطلاعات به دست آمده از آزمون‌های پمپاژ و چاه‌های اکتشافی استفاده گردید (شکل ۵).



شکل ۵: لایه هدایت هیدرولیکی (بر حسب متر بر روز)

اجرای آزمایشی مدل: پس از تخصیص صحیح پارامترهای مختلف به هر سلول و انتخاب بسته محاسباتی، به منظور شناسایی مشکلات و خطاهای احتمالی، حداقل یک بار مدل اجرا گردید تا در صورت نیاز نسبت به رفع این گونه مشکلات اقدام گردد.

واسنجی حالت پایدار

پس از اولین اجرای موفق، مدل ساخته شده برای حالت پایدار به روش سعی و خطا واسنجی گردید. واسنجی عبارت است از فرایندِ یافتن مجموعه‌ای از پارامترهای هیدروژئولوژی، شرایط مرزی، و تنش‌ها، که نتایج حاصل از آن، به صورت بسیار نزدیکی بر اندازه‌گیری‌های صحرایی بار هیدرولیکی و جریان‌های آب زیرزمینی تطابق دارد (اندرسون و وسنر[1]، ۱۹۹۲). در طی این واسنجی، پارامترهای مختلف از جمله هدایت هیدرولیکی، شرایط مرزی، میزان جریان‌های ورودی و خروجی، و تغذیه و تخلیه، تغییر داده شد تا کمترین میزان خطا به دست آید. برای این تحقیق محدوده خطای ±۱/۵ به مدل معرفی گردید. جدول ۳ مقایسه به روش محاسبات آماری با استفاده از سه معیار، شامل خطای ریشه متوسط مربعات (آر ام اس[2])، خطای متوسط (ام ای[3]) و خطای متوسط مطلق (ام اِی ای[4]) را در اولین اجرای مدل و نیز در مدل واسنجی شده نهایی نشان می‌دهد.

[1] Anderson & Woessner
[2] RMS: Root Mean Squared Error
[3] ME: Mean Error
[4] MAE : Mean Absolute Error

جدول ۳: مقایسه نتایج واسنجی به روش محاسبات آماری

مقدار	معیار واسنجی	دوره‌ی واسنجی
۴/۵۰۲	خطای ریشه متوسط مربعات (آر ام اس)	اولین دوره
۱/۸۱۳	خطای متوسط (ام ای)	
۲/۷۳۷	خطای متوسط مطلق (ام اِی ای)	
۰/۶۸۷	خطای ریشه متوسط مربعات (آر ام اس)	پایان مرحله واسنجی (آخرین دوره)
۰/۲۲۲	خطای متوسط (ام ای)	
۰/۵۹۲	خطای متوسط مطلق (ام اِی ای)	

واسنجی حالت ناپایدار

پس از واسنجی مدل ساخته شده در حالت پایدار، مدل مفهومی برای حالت ناپایدار نیز ساخته می‌شود. برای واسنجی مدل ساخته شده‌ی منطقه الشتر در شرایط ناپایدار، از داده‌های سطح آب ۱۸ پیزومتر واقع در محدوده مطالعاتی استفاده شده است. در این تحقیق، بازه‌ی زمانی استفاده شده برای واسنجی دوره‌ی ناپایدار از ابتدای آذر ۱۳۸۶ تا پایان آبان ۱۳۸۷، می‌باشد. جهت بررسی و مقایسه نتایج واسنجی از روش محاسبات آماری یا آنالیز باقی-مانده‌ها استفاده گردید (جدول ۴).

جدول ۴: مقایسه نتایج واسنجی شرایط ناپایدار با روش محاسبات آماری

مقدار	معیار واسنجی	دوره‌ی واسنجی
۱۷۲/۲۹۵	خطای ریشه متوسط مربعات (آر ام اس)	اولین دوره
-۵۱/۸۶۹	خطای متوسط (ام ای)	
۵۶/۲۶۷	خطای متوسط مطلق (ام اِی ای)	
۰/۳۷۳	خطای ریشه متوسط مربعات (آر ام اس)	پایان مرحله واسنجی (آخرین دوره)
۰/۰۶۴	خطای متوسط (ام ای)	
۰/۳۰۷	خطای متوسط مطلق (ام اِی ای)	

صحت‌سنجی

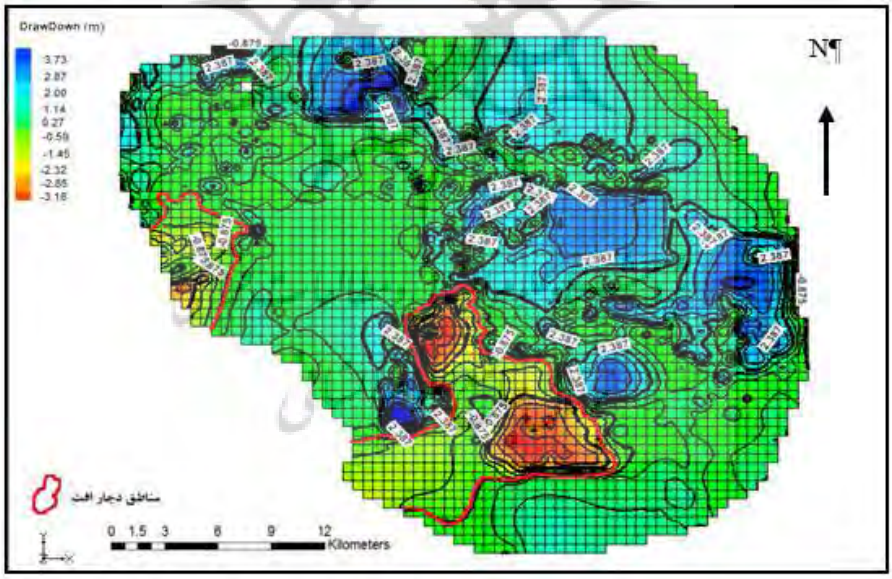
پس از واسنجی مدل در حالت پایدار و ناپایدار، مدل وارد مرحله‌ی صحت‌سنجی شده و میزان تطابق آن با شرایط واقعی و صحرایی بررسی و در صورت تطابق شرایط شبیه‌سازی شده با شرایط صحرایی، از مدل برای پیش‌بینی‌های آینده استفاده می‌شود. پس از واسنجی مدل در حالت ناپایدار، مدل تهیه شده با استفاده از داده‌های یک دوره زمانی ۱۲ ماهه (آذرماه ۱۳۸۷ تا انتهای آبان‌ماه ۱۳۸۸) مورد صحت‌سنجی قرار گرفت تا صحت عملکرد مدل واسنجی شده ارزیابی گردد. جدول ۵، مقایسه به روش محاسبات آماری در مدل واسنجی شده و مدل صحت‌سنجی را نشان می‌دهد.

جدول ۵: مقایسه مدل واسنجی و صحت‌سنجی به روش محاسبات آماری

مقدار	معیار مقایسه	مرحله مورد نظر
۰/۳۷۳	خطای ریشه متوسط مربعات (آر ام اس)	مرحله واسنجی
۰/۷۸۹	خطای ریشه متوسط مربعات (آر ام اس)	مرحله صحت‌سنجی

پیش‌بینی

با پایان یافتن مرحله‌ی صحت‌سنجی و اطمینان به توانایی مدل ساخته شده در پیش‌بینی شرایط آینده‌ی آبخوان، فرایند پیش‌بینی انجام می‌گیرد. در این تحقیق، شرایط آینده‌ی آبخوان الشتر برای ۵ سال آتی (تا پایان آبان ۱۳۹۵) توسط مدل پیش‌بینی شده است. پس از اجرای مدل در این مرحله، جهت نمایش وضعیت آتی سطح آب در آبخوان، از خطوط هم‌پتانسیل جریان آب زیرزمینی استفاده گردید. در شکل ۶، میزان افت و مناطقی که طی دوره پیش‌بینی، دچار افت خواهند شد؛ مشخص شده است.



شکل ۶: خطوط هم‌افت و مناطق دچار افت طی دوره پیش‌بینی

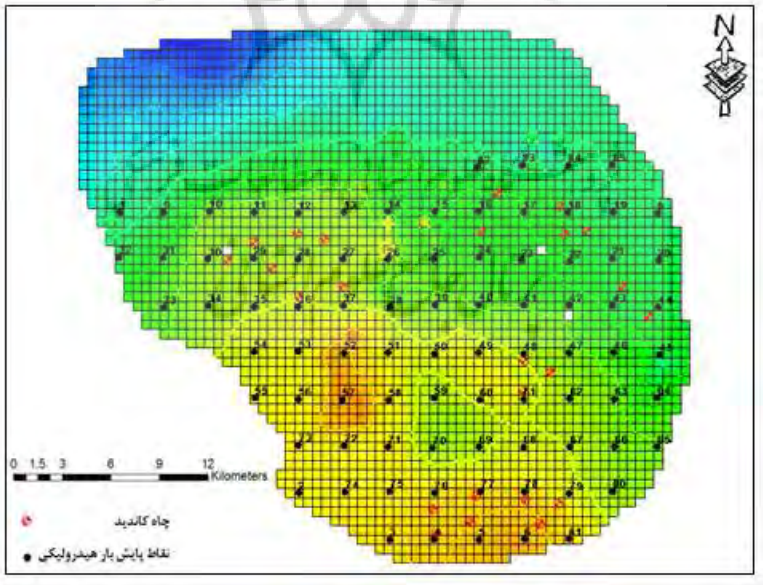
مدیریت آبخوان

با توجه به نتایج مدل پیش‌بینی (نزدیک به ۳/۵ متر افزایش افت سطح آب در طی دوره مورد نظر)، ارائه راهکارهای مدیریتی به منظور کاهش میزان افت و جلوگیری از بحرانی شدن وضعیت آبخوان در بخش‌هایی که دچار افت شدیدی شده‌اند و رفع معضلات آبخوان با صرف کمترین هزینه‌ها ضروری می‌باشد. در این تحقیق جهت مدیریت

آبخوان از مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی استفاده شد؛ در مدل بهینه‌ساز از کد رایانه‌ای «جی دبلیو ام[1]» که دارای قدرت تحلیل اقتصادی می‌باشد؛ استفاده گردید. با توجه به موارد بالا، نقاط جدید جهت احداث چاه جایگزین در منطقه مدل‌سازی مشخص شد (شکل ۷). همچنین جهت نیل به اهداف مدیریتی مقادیر پمپاژ از ۲۸ عدد چاه بهره-برداری موجود در محدوده افت، به میزان ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد کاهش یافته و این میزان کاهش برداشت، از طریق پمپاژ آب از چاه‌های پیشنهادی جدید که خارج از محدوده افت قرار دارند؛ تأمین شده است (جدول ۶). در این تحقیق جهت بر آورده کردن اهداف مدیریتی مطرح شده، از کد رایانه‌ای «جی دبلیو ام» به عنوان یک مدل تکمیلی استفاده شده است. نتایج اجرای مدل مدیریتی در دو راهبرد هیدرولیکی و اقتصادی در جداول ۷ و ۸ ارائه شده‌اند.

جدول ۶: محدوده مطلوب حجم کل آب برداشتی از چاه‌های جایگزین

درصد کاهش برداشت در هر راهکار	حجم کمینه آب برداشتی (مترمکعب)
۱۰٪	۷۸۰
۲۰٪	۱۵۶۰
۳۰٪	۲۳۴۰
۵۰٪	۳۹۰۰
۷۰٪	۵۴۶۰



شکل ۷: موقعیت چاه‌های کاندید و نقاط پایش بار هیدرولیکی

[1] GWM

جدول ۷: نتایج اجرای مدل مدیریتی در نرم‌افزار «جی دبلیو ام» برای راهبرد مدیریت هیدرولیکی

راهکارها	درصد کاهش برداشت آب (درصد)				
	۱۰٪	۲۰٪	۳۰٪	۵۰٪	۷۰٪
برداشت سالانه از چاه‌های جایگزین (مترمکعب)	۸۶۶	۱۷۳۳	۲۶۰۰	۴۳۳۳	۶۳۶۶

جدول ۸: نتایج اجرای مدل مدیریتی در نرم‌افزار «جی دبلیو ام» برای راهبرد مدیریت اقتصادی

راهکارها	درصد کاهش برداشت آب (درصد)				
	۱۰٪	۲۰٪	۳۰٪	۵۰٪	۷۰٪
برداشت سالانه از چاه‌های جایگزین (مترمکعب)	۷۸۰	۱۴۴۰	۲۳۴۰	۳۹۰۰	۵۴۶۰

نتایج و بحث

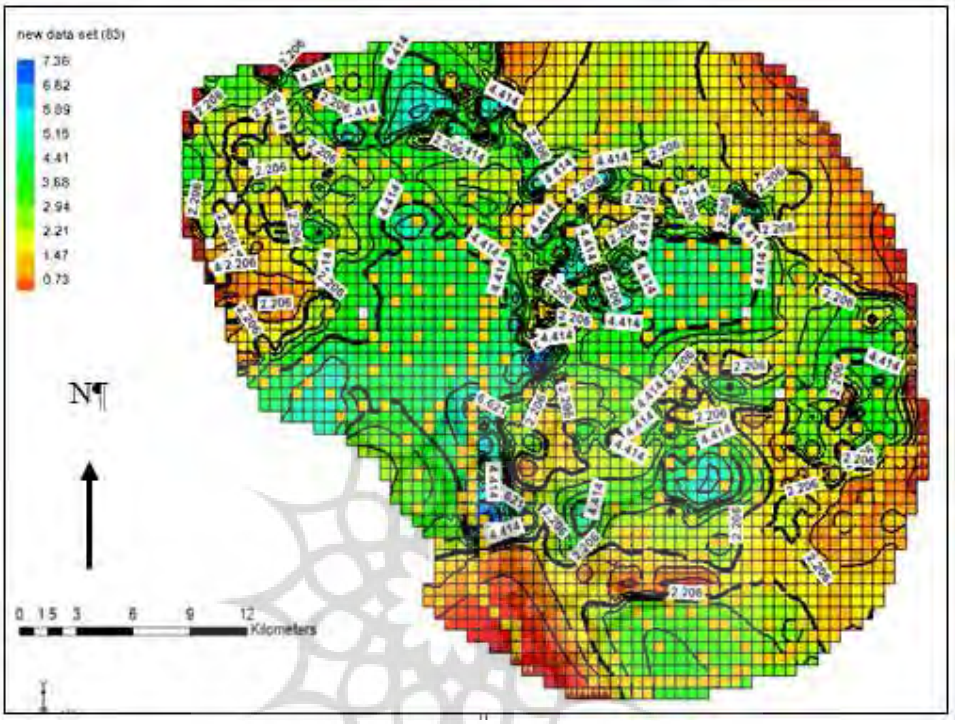
مدل‌های شبیه‌سازی اصولاً به دلیل شرایط ناپایدار حاکم بر آبخوان‌ها، باید در شرایط ناپایدار، کالیبره (واسنجی) شوند. هدایت هیدرولیکی، شرایط مرزی و پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری، مهم‌ترین پارامترهایی بودند که مورد واسنجی قرار گرفتند. جهت بررسی مقادیر بهینه K، از مقایسه این مقادیر با مقادیر رایج K برای لیتولوژی چاه‌های اکتشافی منطقه استفاده شد. علاوه بر این مقایسه، صحت مقادیر هدایت هیدرولیکی، با توجه به ضخامت اشباع آبخوان و ضریب قابلیت انتقال هر منطقه ارزیابی گردید. با نگاهی به ستون چینه‌شناسی هر چاه اکتشافی، و مقایسه K رایج برای ستون مذکور با K محاسبه شده برای هر منطقه، مشخص شد که ضریب نفوذپذیری به دست آمده با لیتولوژی و K رایج به دست آمده متناسب می‌باشد. به طور کلی مقادیر کم K در قسمت‌های شرق و جنوب شرقی به لیتولوژی و رس فراوان موجود مربوط است که با ضرایب به دست آمده از آزمایش پمپاژ نیز هماهنگی داشته و با واقعیت‌های صحرایی همخوانی دارد. مناطق نزدیک بستر رودخانه الشتر نیز به دلیل آبرفتی بودن منطقه و لیتولوژی ماسه‌ای گرد شده آن، از ضریب نفوذپذیری بیشتری برخوردار است. مهم‌ترین پارامترهایی که طی واسنجی دوره‌ی ناپایدار بهینه شدند؛ ضریب ذخیره، میزان دبی ورودی و خروجی آب زیرزمینی از مرزها و میزان پمپاژ چاه‌ها بودند. مقادیر اولیه ضریب ذخیره جهت ورود به مدل ناپایدار و شروع مرحله واسنجی، با توجه به لیتولوژی ضخامت اشباع و استفاده از جداول استاندارد و نیز نتایج آزمون‌های پمپاژ تخمین زده شد. حداقل مقادیر بهینه شده S، ۰/۰۱ و مربوط به مناطق دارای ضخامت اشباع کم و با میزان رس فراوان می‌باشد. همچنین مقادیر حداکثر (۰/۲۸) به مناطق با نرخ تغذیه بالا و با ضخامت اشباع زیاد مربوط می‌باشد. مقایسه مقادیر به دست آمده برای این پارامتر نشان می‌دهد که مقادیر محاسبه شده به وسیله مدل از یک نزدیکی و تطابق نسبی با داده‌های صحرایی برخوردار می‌باشد. پس از بهینه‌یابی مقادیر پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری، جهت تعیین میزان و چگونگی تأثیر خطای ناشی از تغییرات (افزایش و کاهش) میزان پمپاژ بر روی نتایج مدل، اقدام به افزایش و کاهش ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصدی میزان پمپاژ گردید.

نتایج نشان می‌دهد که عدم تغییر در پارامترهای بهینه‌یابی شده بهترین حالت اجرای مدل از نظر میزان خطای «آر ام اس» است.

صحت‌سنجی مدل بر اساس مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی بار هیدرولیکی در شبکه پیزومتری موجود در منطقه انجام گردید. با بررسی میزان خطای ایجاد شده در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی (جدول ۵) و نیز هیدروگراف‌های نشان دهنده‌ی سطح آب مشاهداتی و محاسباتی تمام پیزومترها، مشخص شد که سطح آب محاسبه شده و مشاهده شده برای تمام پیزومترها از انطباق خوبی برخوردار است. نتایج حاصله از پیش‌بینی نشان می‌دهد که با استمرار شرایط فعلی، سالانه به طور متوسط حدود ۶۵ سانتی‌متر بر افت سطح آب زیرزمینی، افزوده شده و بدین‌ترتیب در پایان دوره‌ی پیش‌بینی، مقدار افزایش افت در این مدت به حدود ۳/۵ متر خواهد رسید. بر این اساس بخش‌هایی از مرکز و غرب دشت به دلیل تمرکز بالای چاه‌ها، دوری از مناطق تغذیه و حجم ذخیره‌ی کم، مهم‌ترین مناطق دچار افت می‌باشند. همچنین به دلیل اینکه بخش شمال شرق و شرق محدوده‌ی مدل به خوبی تغذیه می‌شود؛ در این مدت افت چندانی نشان نداده است.

با پیش‌بینی ایجاد افت در قسمت‌هایی از آبخوان توسط مدل شبیه‌ساز در سال‌های آتی، راهکارهای مدیریتی شامل کاهش پمپاژ به میزان ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ برای آبخوان ارائه گردید. با توجه به افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان، تابع هدف اصلی در مسئله مدیریتی آبخوان الشتر، طی هر دو راهبرد هیدرولیکی و اقتصادی، کاهش میزان افت و جبران آن و خارج کردن سفره از وضعیت بحرانی می‌باشد. در راهبرد هیدرولیکی، با کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی میزان پمپاژ از ۲۸ عدد چاه موجود در منطقه افت، مخروط افت از بین نرفته است؛ اما این کاهش پمپاژ، میزان افت در دو منطقه مهم دچار افت به ویژه مرکز و سمت جنوبی آبخوان را کاهش داده است. با افزایش کاهش پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری تا میزان ۵۰ درصد، مخروط افت به کلی از بین رفته و سطح آب در مناطق دچار افت به حالت عادی خود بر خواهد گشت. اجرای گزینه آخر که شامل کاهش ۷۰ درصدی میزان پمپاژ چاه‌های موجود در منطقه افت می‌باشد؛ مطابق انتظار باعث از بین رفتن کامل مخروط افت می‌گردد (شکل ۸).

جبران کامل افت در راهبرد هیدرولیکی با کاهش ۵۰ درصدی برداشت از آبخوان در مناطق پر افت میسر می‌شود؛ این در حالی است که در راهبرد اقتصادی دستیابی به اهداف مدیریتی (جبران افت) هنگامی ممکن می‌گردد که پمپاژ از چاه‌های موجود در منطقه‌ی افت به میزان ۷۰ درصد کاهش یابد.



شکل ۸: کاهش ۷۰ درصدی حجم آب برداشتی در مناطق افت و جبران کامل افت

نتیجه‌گیری

نتایج پیش‌بینی شرایط آبخوان برای ۵ سال آتی با استفاده از مدل شبیه‌ساز نشان می‌دهد که با استمرار وضعیت کنونی آبخوان و عدم تغییر در شرایط فعلی حاکم، و بدون در نظر گرفتن افزایش یا کاهش برداشت از آبخوان، سطح آب زیرزمینی در قسمت‌های مرکزی و نیز در غرب آبخوان دچار افت شدید شده و سطح آب آن تقریباً به طور متوسط حدود ۶۵ سانتی‌متر در سال پایین می‌افتد. بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته، میزان افت در مناطق مذکور تا پایان آبان ۱۳۹۵ حدود ۳/۵ متر افزایش خواهد داشت. بر اساس نتایج حاصل از مدل شبیه‌ساز (سطح آب پیش‌بینی شده)، منطقه‌بندی ضریب ذخیره و هدایت هیدرولیکی، مناسب‌ترین و مطمئن‌ترین مناطق جهت حفر چاه جدید و استحصال آب از آبخوان، قسمت شرقی و جنوبی آبخوان می‌باشد. در راستای حل مشکلات افت آبخوان و به نوعی نجات آبخوان از وضعیت بحرانی، اجرای راهکارهای مدیریتی ضروری می‌باشد. نتایج حاصل از اجرای راهکارهای مدیریتی نشان می‌دهد که هر دو راهبرد هیدرولیکی و اقتصادی منجر به کاهش میزان افت در قسمت‌هایی می‌شوند که دچار افت شده بودند. نتایج مقایسه دو راهبرد مدیریتی نشان می‌دهد که راهبرد هیدرولیکی از نظر فراهم کردن حجم آب قابل جایگزین جهت جبران افت، به میزان ۱۲/۵ درصد توانایی بیشتری نسبت به راهبرد اقتصادی دارد. از نظر برآورده نمودن اهداف اقتصادی نیز، راهبرد اقتصادی به میزان ۱۱ درصد از راهبرد هیدرولیکی کاراتر می‌باشد.

منابع

اسدی، ناصر و سعید فتحی، ۱۳۹۱، "مدلسازی سیستم جریان آب زیرزمینی دشت همدان–بهار با استفاده از GMS"، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، شیراز، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز

جباری، پریسا؛ محمد قنبرپور؛ محمود حبیب نژاد روشن و احمد فاتحی‌مرج، ۱۳۸۷، "شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW جهت مدیریت بهره‌برداری (دشت ساری-نکا)"، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، تبریز، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه تبریز

حسین‌سربازی، آرش، و کاظم اسماعیلی، ۱۳۹۲، "بررسی و مدل‌سازی کمی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت نیشابور)"، علوم و مهندسی آبیاری (مجلهی علمی کشاورزی)، شماره۴ دوره ۳۶: ۸۷-۷۳

شمسایی، ابوالفضل، ۱۳۸۳، هیدرولیک جریان آب در محیطهای متخلخل، جلد اول، تهران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر .

شمسایی، ابوالفضل، ۱۳۷۶، هیدرولیک جریان آب در محیطهای متخلخل، جلد دوم، تهران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

قبادیان، رسول، علی فتاحی، صونا مجیدی و محمد زارع. ۱۳۹۲ "شبیه‌سازی سفره آب زیرزمینی دشت میان‌دربندکرمانشاه با استفاده از مدل" GMS ، اولین همایش ملی چالش‌های منابع آب و کشاورزی

کردوانی، پرویز، ۱۳۸۷، منابع و مسائل آب در ایران، جلد اول، تهران، دانشگاه تهران.

کرسیک، نون، ۱۳۸۱، مدل¬سازی آب¬های زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی، منوچهر چیت¬سازان، حیدرعلی، کشکولی، اهواز، انتشارت دانشگاه شهید چمران.

گزارش اکتشافی دشت الشتر، ۱۳۸۲، مهندسین مشاور ژرفاب پایش، خرمآباد، شرکت سهامی آب منطقهای لرستان.

گزارش سالیانه دشت الشتر، ۱۳۹۰، شرکت سهامی آب منطقهای لرستان، خرم‌آباد، امور مطالعات آب منطقهای استان لرستان

گزارش مدلسازی دشت الشتر، ۱۳۸۲، مهندسین مشاور ژرفاب پایش، خرمآباد، شرکت سهامی آب منطقه‌ای لرستان.

گزارش هواشناسی الشتر، ۱۳۸۲، شرکت سهامی آب منطقه¬ای لرستان، خرم‌آباد

گزارش هیدروژئولوژی دشت الشتر، ۱۳۸۲، مهندسین مشاور ژرفاب پایش، مطالعات نیمه‌تفصیلی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی الشتر، خرم‌آباد، سازمان آب منطقهای غرب، امور آب استان لرستان

گزارش هیدرولوژی الشتر، ۱۳۸۲، مهندسین مشاور ژرفاب پایش، مطالعات نیمه¬تفصیلی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی الشتر، خرم‌آباد، سازمان آب منطقهای غرب، امور آب استان لرستان

علیزاده، امین، ۱۳۸۸، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست و چهارم، مشهد، دانشگاه امام رضا (ع.(

محمودیانشوشتری، محمد، ۱۳۸۹، هیدرولیک آب¬های زیرزمینی، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.

ولایتی، سعدالله، ۱۳۸۷، هیدروژئولوژی سازندهای نرم و سخت، مشهد، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد .

ولایتی، سعدالله، ۱۳۸۳، جغرافیای آب¬ها، مشهد، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد .

Anderson, Mary P. Woessner, William W., 1992, Applied Groundwater Modeling, California, Academic Press.

Bin-Wu, Yi, Zh. Xin, W. Yong, T. Feng, H. Jie, L. Chunmiao, Zh., 2015, "Optimizing water resources management in large river basins with integrated surface water-groundwater modeling: A surrogate-based approach", AGU PUBLICATIONS,Volume 51, Issue 4 April 2015 Pages 2153–2173

Boyce, E. Nishikawa, T. and W-G yeh, W., 2015, "Reduced order modeling of the Newton formulation of MODFLOW to solve unconfined groundwater flow", Advances in Water Resources, vol 83: 250-262.

Elghany, A. Hassan Mahmoud, S. Ahmed, A. Riad H, P. and Rany, M., 2015, "OPTIMIZATION FOR NUMBER OF VERTICAL DRAINAGE WELLS IN HIGHLY HETEROGENEOUS AQUIFERS", International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research, vol 02: 569-582.

Fernandez-A lvarez, P. lorena A, J. lvarez, L. and Diaz-Noriega, R., 2016, "Groundwater Numerical Simulation in an Open Pit Mine in a Limestone Formation Using MODFLOW", Mine Water Environ, June 2016, Volume 35, Issue 2, pp 145–155.

Fetter, Charles W., 2001, Applied hydrogeology, Fourth Edition NewJersey, Prentice Hall.

Jafari, F, Javadi, S, Golmohammadi, G. and Karimi., 2016, "Numerical simulation of groundwater flow and aquifer-system compaction using simulation and InSAR technique: Saveh basin,Iran", Environ Earth Sci, vol 75: 823-833.

Jang, Sh., Fang Chen, Ch. Liang, Ch. Chen, J., 2016, "Combining groundwater quality analysis and a numerical flow simulation for spatially establishing utilization strategies for groundwater and surface water in the Pingtung Plain", Journal of Hydrology, Volume 533, February 2016, Pages 541–556

Mohamed, M,. Al-Suwaidi, N. Abdelazim, E. and Al Mulla, M. , 2016, "Groundwater modeling as a precursor tool for water resources sustainability in Khatt area, UAE", Environ Earth Sci, March 2016, Volume 75 pp 400-418.

Parhizkar, S. Ajdary, Kh., Kazemi, Gh. and Emamgholizadeh, S., 2015, "Predicting water level drawdown and assessment of land subsidence in Damghan aquifer by combining GMS and GEP models", Geopersia, Volume 5, spring 2015, pp 63-80.

Roy, P. K. Roy, S. S. Giri, A. Banerjee, G. Majumder, A. and Mazumdar, A., 2014, "Study of impact on surface water and groundwater around flow fields due to changes in river stage using groundwater modeling system", Clean Techn Environ Policy, January 2015, Volume 17, Issue 1, pp 145–154.

Todd, D. Keith, Mays, Larry, W., 2005, Groundwater Hydrology, New York, John Wiley & Sons.

Wang, F. Mary P, H. Anderson, M P., 1995, Introduction to Groundwater Modeling, Academic Press.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Groundwater Level Decline and Compensating Withdrawal Plan in Aleshtar Plain, Lorestan Province, Iran

Naser Asadi*[1], Morad Kaki[2], Reza Jamoor[3]

1- PhD of Hydrogeology, Geology Group, Faculty of Sciences, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Email: naserasadi@science.usb.ac.ir

2- MS in Hydrogeology, Water Resource Experts, Kuhdasht, Iran

3- MS in Hydrogeology, Rayab Company, Tehran, Iran

Received: 2015.08.07 Accepted: 2016.07.09

Abstract

Study area (Aleshtar plain) is located about 52 Km far from Khorramabad city (Lorestan Province centre) in the northwest direction. Excessive groundwater withdrawal in recent years caused some hazards such as the high decline in groundwater level. In this research, the amount of aquifer drawdown is estimated to be about 4m using plain unit hydrograph according to respective data of the study period (2002-09). Also, for determining the areas with critically low water levels as well as for simulating the groundwater responses to further withdrawal under various conditions in future, the mathematical model of the aquifer was developed. Then, by a combination of the mathematical model of the aquifer and geographical information system (GIS), the simulation model of the aquifer was constructed via using the GMS software. According to prediction outcomes of the simulation model, the groundwater level would have about 3.5m further depression at the end of the consecutive five years' period. Finally, some management approaches offered for appropriate withdrawal aimed at the compensation of drawdown as well as hydraulics and economic considerations and were evaluated by the aim of GWM software. Amounts of required water which lost due to withdrawal reduction would be compensating through pumping from new proposed wells which are located outside of high depression area.

Key words: Aquifer Management, Geographical Information System, Mathematical model, Simulation Model, Water Resource.