

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۷، پاییز ۱۳۹۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۱۸

صفحات: ۱۳۶ - ۱۲۱

## مدل سازی آبخوان آبرفتی با استفاده از نرم افزار PMWIN و بررسی عوامل مؤثر بر پدیده فرونشست در دشت اسدآباد، استان همدان

عبدالله طاهری تیزرو<sup>۱\*</sup>، سید ابوالفضل حسینی<sup>۲</sup>، مرتضی کمالی<sup>۳</sup>

### چکیده

محدوده مطالعاتی دشت اسدآباد از نظر تقسیمات هیدرولوژیکی، قسمتی از حوضه آبریز رودخانه کرخه است. کاهش بارندگی و افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در چند سال اخیر باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین گردیده است. لذا در این تحقیق به منظور ارزیابی هیدروژئولوژیکی، شناخت بهتر آبخوان و بهره‌برداری بهینه از این منابع با استفاده از اطلاعات موجود، مدل تفهیمی و ریاضی آبخوان تهیه گردید. به منظور تهیه مدل ریاضی آبخوان دشت اسدآباد، ابتدا داده‌های کمی و کیفی آبخوان همچنین اطلاعات زمین‌شناسی، هواشناسی هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس با توجه به مدل تفهیمی آبخوان، مدل کمی آبخوان با استفاده از نرم‌افزار PMWIN تهیه گردید. مدل برای سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ با در نظر گرفتن ۱۲ دوره تنش یک ماهه اجرا و واسنجی گردید. آنالیز حساسیت مدل ریاضی نشان داد که مدل تهیه‌شده به هدایت هیدرولیکی حساسیت بیشتری دارد. به منظور صحت‌سنجی، مدل برای سال آبی ۸۶ - ۱۳۸۵ اجرا شد. در این مرحله مدل قادر به شبیه‌سازی شرایط طبیعی آبخوان نبود. دلیل اصلی عدم مقبولیت مدل، عدم قطعیت داده‌های ورودی و نبود پیژومتر در بخش وسیعی از لایه دوم تشخیص داده شد. همچنین با بررسی عوامل مؤثر بر پدیده فرونشست زمین (افت سطح آب، جنس آبخوان، ضخامت آبخوان و وجود سفره تحت فشار) مشخص شد که مناطق مرکزی و جنوبی دشت قابلیت آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به پدیده فرونشست دارند.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی، مدل‌سازی، آبخوان اسدآباد، فرونشست، PMWIN، MODFLOW.

ttizro@basu.ac.ir

hosseiniabolfazl64@gmail.com

mortezakamali2013@gmail.com

<sup>۱</sup>-دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان (نویسنده مسئول)

<sup>۲</sup>- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان

<sup>۳</sup>- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان

## مقدمه

دشت اسدآباد یکی از مهم‌ترین دشت‌های حاصلخیز استان همدان است. نشست سطح زمین ناشی از افت سطح آب‌های زیرزمینی در بخش‌های مرکزی این دشت به طور محسوس مشاهده می‌گردد. به طوری که افت شدید سطح آب زیرزمینی در این مناطق سبب ایجاد فرونشست، لوله‌زایی و گسیختگی لوله جدار چاه‌ها شده است. مدل عددی جریان آب زیرزمینی، MODFLOW، (مک‌دونالد و هارباگ<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶) دارای استفاده فراوانی در سرتاسر جهان برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی (رجانی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸)، مدیریت سطح آب زیرزمینی و استخراج آن (لئو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۰، لئو و همکاران، ۲۰۰۶) است. مدل MODFLOW شبیه‌ساز سه‌بعدی جریان آب زیرزمینی از طریق روش عددی تفاضلات محدود<sup>۴</sup> بوده و قادر است که جریان آب زیرزمینی را تحت شرایط پیچیده هیدرولیکی و با فرآیندهای گوناگون هیدرولوژیکی شبیه‌سازی نماید. حادد<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۳) با اتصال مدل‌های مادفلو و ویپ برای آبخوان زئوس کوتین<sup>۶</sup> در جنوب شرقی تونس برای مدیریت منابع آب یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری<sup>۷</sup> ایجاد کردند. آن‌ها بیان کردن که سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری قادر است تا سال ۲۰۳۰ میلادی وضعیت آبخوان در پاسخ به سناریوهای مختلف مدیریتی پیش‌بینی کند. سانچز<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۳) مدل بهینه‌سازی شده آب زیرزمینی را برای آبخوان پوبلا<sup>۹</sup> در کشور مکزیک با ترکیب مدل مادفلو و ابزار بهینه‌سازی MODRSP ایجاد کردند، سپس با استفاده از این مدل طیف وسیعی از گزینه‌های مدیریت به منظور شناسایی استراتژی مناسب برای مدیریت منابع آب آبخوان بررسی کردند. لاجل<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۱۲)، مدل سه‌بعدی جریان آب‌های زیرزمینی در یک منطقه نیمه‌خشک واقع در مرکز تونس با استفاده از کد مادفلو و ابزار GIS تهیه کردند. سپس مدل را طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۰۷ واسنجی و صحت‌سنجی نمودند. نتایج نشان داد که آبخوان حساسیت بالایی نسبت به میزان نفوذ آب و تغییرات هدایت هیدرولیکی دارد. هدف اصلی این مطالعه، مدل‌سازی و بررسی پدیده فرونشست آبخوان آبرفتی با استفاده از مدل MODFLOW در دشت اسدآباد، استان همدان است.

## داده‌ها و روش‌ها

## محدوده مورد مطالعه

دشت اسدآباد با موقعیت جغرافیایی  $47^{\circ} 52'$  تا  $48^{\circ} 15'$  طول شرقی و  $34^{\circ} 37'$  تا  $34^{\circ} 56'$  عرض شمالی در غرب استان همدان، یکی از دشت‌های زیر حوضه کرخه با وسعت حدود  $962/2$  کیلومتر مربع است. به طور متوسط حداکثر

1- McDonald and Harbaugh

2- Rejani

3- Liu

4- three-dimensional finite difference groundwater flow model

5- Hadded

6- Zeuss Koutine

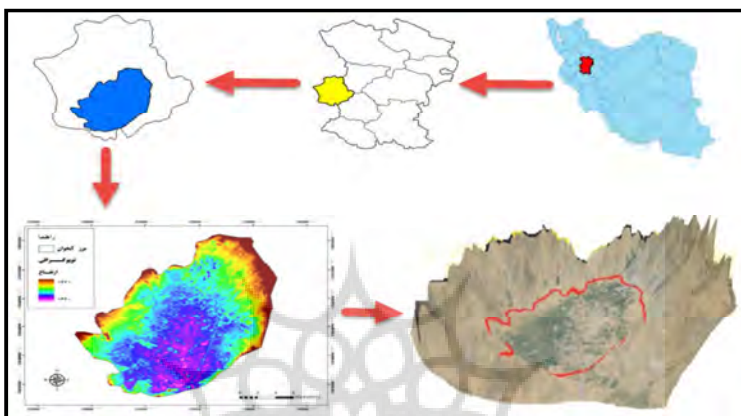
7- Decision Support System

8- Sánchez

9- Puebla

10- Lachaal

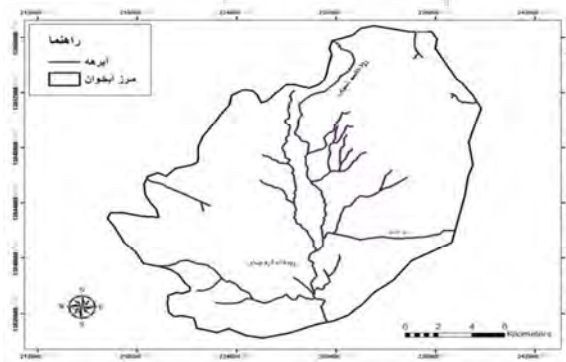
مساحت حوضه آبریز در حد فاصل ارتفاع ۱۴۵۰ تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. شیب عمومی حوضه آبریز از شمال شرق به جنوب غرب است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دشت اسدآباد را به همراه توپوگرافی دشت نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت و توپوگرافی دشت اسدآباد در استان همدان

#### هیدرولوژی دشت اسدآباد

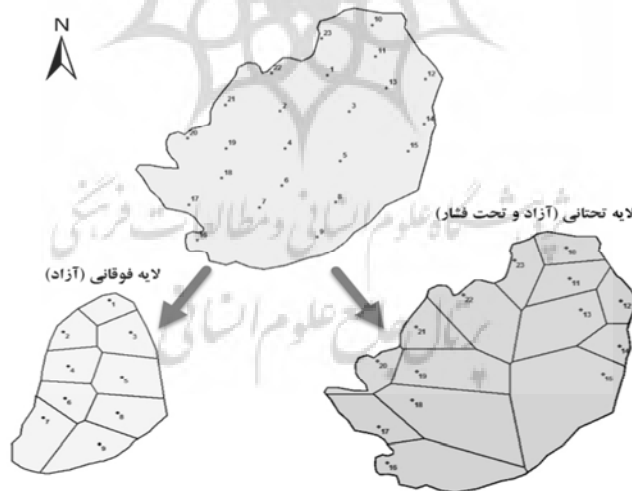
مکان خروج تمام آب‌های سطحی در حوضه آبریز دشت اسدآباد در خسروآباد قرار دارد. در بخش‌هایی از شمال، جنوب و غرب دشت که آهک وجود دارد و در محل‌هایی که آهک دگرگون نشده و در اثر گسل و خردشدگی، دارای درز و شکاف است؛ احتمال وجود آبخوان کارستی و در نتیجه تبدلات زیرسطحی وجود دارد. با توجه به وضعیت دشت، جریان‌ات سطحی نقش مهمی در تغذیه آبخوان دارد، خصوصاً در مناطقی که سنگ بستر بالا است. ولی در دشت اسدآباد، هیچ جریان سطحی دائمی در منطقه وجود ندارد و رودها فصلی هستند و در هنگام بارندگی به علت شیب کم و عدم وجود یک شبکه هیدروگرافی کامل، جریان‌های واردشده از زیر حوضه‌های کوهستانی اطراف، در محدوده دشت پخش شده و باعث تغذیه سفره آب زیرزمینی منطقه می‌شوند. تنها زهکش حوضه آبریز اسدآباد، رودخانه شهاب است در شکل ۲ موقعیت رودخانه شهاب نشان داده شده است.



شکل ۲: رودخانه شهاب به همراه شاخه‌های فرعی آن

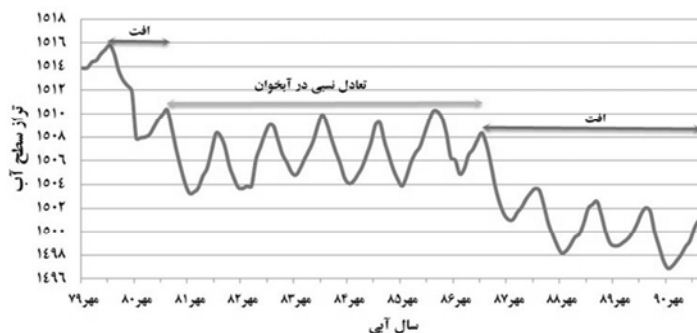
### هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی دشت اسدآباد

ضخامت آبرفت در دشت اسدآباد بین ۲۰ تا بیشتر از ۴۰۲ متر متغیر است. ضخامت رسوبات در قسمت‌های شمال غربی دشت کمتر از ۲۰ متر است و هر چه به سمت قسمت‌های مرکزی دشت حرکت می‌کنیم ضخامت رسوبات افزایش می‌یابد. بیشترین ضخامت رسوبات منطقه مورد مطالعه ۴۰۲ متر است که در بخش فروافتادگی سنگ بستر و در مرکز دشت واقع شده است. دانه‌بندی لاگ‌های چاه‌های اکتشافی و پیزومترهای نشان می‌دهد، رسوبات عموماً تناوبی از سیلت و رس و ماسه هستند. نتایج حاصل از بررسی مطالعات ژئوفیزیک و لاگ‌های چاه‌های اکتشافی نیز نشان می‌دهد که قرار گرفتن رسوبات ریزدانه با ضخامت زیاد بر روی رسوبات درشت‌دانه در مرکز دشت باعث به وجود آمدن سفره تحت‌فشار در زیر آبخوان آزاد (لایه اول)، ایجاد شده است. البته دانه‌بندی رسوبات و ستبرای آنها به شکلی است که در بخش‌های گسترده‌ای از این محل محدوده یک آبخوان تحت‌فشار کاملی ایجاد نشده و در این بخش‌ها آبخوان از نوع نیمه تحت‌فشار است. در حال حاضر تعداد پیزومترهای دشت اسدآباد ۲۳ حلقه است. هر چند که پیزومترهای موجود در محدوده مطالعاتی از نظر ظاهری پراکندگی مناسبی نشان می‌دهند. ولی پس از تفکیک پیزومترهای هر لایه و پلیگون‌بندی با استفاده از روش تیسن مشخص گردید که پراکندگی پیزومترها در لایه دوم نامناسب و در لایه اول نسبتاً مناسب است (شکل ۳).



شکل ۳: وضعیت لایه‌ها و موقعیت پیزومترهای آبخوان

همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود در لایه اول نبود پیزومتر در پایین پیزومتر ۷ محسوس است و در مرکز دشت و در پهنه پیزومترهای ۱، ۳، ۴، ۸، ۵ و ۹ که مربوط به لایه اول هستند فقدان پیزومتر در لایه دوم آشکار است. همچنین به نظر می‌رسد مقداری از پیزومترهای ۲ و ۷ که در لایه اول قرار دارند، در لایه دوم نیز نفوذ کرده باشند. با توجه به منحنی وضعیت سطح ایستابی در آبخوان دشت اسدآباد (شکل ۴) ملاحظه می‌گردد که از سال ۱۳۷۹ تا سال ۱۳۹۰ افت سطح ایستابی هم به صورت تدریجی و هم به صورت ناگهانی تداوم داشته است.



شکل ۴: هیدروگراف واحد کل آبخوان اسدآباد

جهت جریان آب‌های زیرزمینی به طور محلی از شمال به جنوب و از ارتفاعات محاط کننده دشت به سمت مرکز دشت است لذا سطح آب در جنوب دشت از سطح زمین دور می‌شود.

#### بیان آب زیرزمینی در دشت اسدآباد

بیان آب زیرزمینی یک آبخوان طبق معادله ۱ محاسبه می‌شود:

$$(Q_{in} + Q_{is}) - (Q_w + Q_{Eg} + Q_d + Q_{out}) = \Delta V \quad (1)$$

که عوامل ورودی (عوامل مثبت بیان) در معادله ۱ عبارتند از  $Q_{in}$ ، جریان زیرزمینی ورودی از آبخوان‌های مجاور؛ و  $Q_{is}$ ، تغذیه از سطح آبخوان که این مؤلفه خودش دربرگیرنده نفوذ از آب‌های مختلف است و مطابق معادله ۲ می‌باشد:

$$Q_{is} = Q_p + Q_l + Q_{sw} + Q_R \quad (2)$$

که  $Q_p$  نفوذ ناشی از بارش نازل شده،  $Q_l$  تغذیه ناشی از آب بازگشتی آبیاری،  $Q_{sw}$  تغذیه از پساب آب مصرفی شرب و صنعت،  $Q_R$  تغذیه از جریان‌های سطحی و رودخانه‌ها که میزان تغذیه مصنوعی احتمالی نیز در این عبارت لحاظ می‌گردد.

عوامل خروجی (عوامل منفی بیان) در معادله ۲ نیز عبارتند از  $Q_w$ ، برداشت و تخلیه آب توسط چاه، قنات و چشمه از آبخوان؛  $Q_{Eg}$ ، تبخیر از آب زیرزمینی؛  $Q_d$ ، زهکشی از آبخوان توسط زهکش‌های طبیعی و یا مصنوعی؛ و  $Q_{out}$ ، جریان زیرزمینی خروجی از آبخوان است.

$\Delta V$  تغییر در ذخیره آبخوان است.

با احتساب ضریب رواناب ۱۱/۰۵ درصد، میزان بارش تبدیل شده به رواناب محاسبه و سپس ضریب نفوذ ۳۰ درصد نیز با توجه به جنس رسوبات آبرفتی لحاظ گردید (دفتر مطالعات منابع آب، ۱۳۸۷). لذا حجم نفوذ از جریان سطحی دشت برابر با ۱۱/۲۴ میلیون مترمکعب می‌شود. حجم آب برگشتی زراعی به آبخوان با توجه به بافت خاک منطقه و نوع آبیاری که عمدتاً سنتی است، ۳۰ درصد آب برداشتی از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در نظر گرفته شد (دفتر

مطالعات منابع آب، ۱۳۸۷). با توجه به اینکه در اکثر مناطق دشت، فاضلاب‌های شهری و خانگی به داخل چاه‌ها هدایت می‌شوند، لذا درصد برگشت ۷۰ درصد برای آب شرب و صنعت در نظر گرفته شد (دفتر مطالعات منابع آب، ۱۳۸۷). در محدوده مطالعاتی حجم تخلیه توسط چاه‌های عمیق و نیمه عمیق برابر با ۲۱۷/۱۸ میلیون مترمکعب است و میزان تخلیه توسط چشمه‌ها برابر با ۴/۳۰ میلیون مترمکعب و قنات برابر با ۱/۱۵ میلیون مترمکعب است.

بر اساس نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی، در دشت اسدآباد نواحی تبخیری که عمق سطح آب زیرزمینی در آن‌ها بین ۱ تا ۷ و ۳ تا ۵ است وجود دارد. مساحت ناحیه بین ۱ تا ۳ متر ۱۷/۸ کیلومتر مربع و ناحیه بین ۳ تا ۵ متر ۲۱/۸ کیلومتر مربع است. با توجه به متوسط تبخیر سالانه از تشتک تبخیر و منحنی وایت، میزان تبخیر آب زیرزمینی ۱/۵۲ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. (دفتر مطالعات منابع آب، ۱۳۸۷). پارامترهای تخلیه نظیر زهکشی  $Q_d$  از سفره آب زیرزمینی به دلیل پائین افتادن سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر منتفی بوده و وجود خارجی ندارد.

بر اساس محاسبات بیلان با استفاده از پلیگون‌بندی جدید برای لایه دوم که در این پلیگون‌بندی، فقط پیرومترهای مربوط به لایه دوم تأثیر داده شده است و محاسبه ضریب آبدهی ویژه با استفاده از مقادیر به دست آمده توسط مدل که برای هر پلیگون با میانگین‌گیری محاسبه گردید مقدار بیلان معادل ۱۸/۱۹- میلیون مترمکعب محاسبه گردید. به عبارتی در لایه دوم میزان کسری مخزن معادل ۱۸/۱۹- میلیون مترمکعب در سال ۸۴-۸۵ محاسبه گردید. در لایه اول میزان کسری مخزن معادل ۰/۵۴+ میلیون مترمکعب گردید لذا در کل قدر مطلق میزان کسری مخزن دو لایه معادل ۱۷/۵ میلیون مترمکعب است. از این رو تنها مجهول در معادله بیلان، ورودی زیرزمینی است که معادل ۱۵۳/۳ گردید و در ادامه خلاصه بیلان در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: خلاصه بیلان برحسب میلیون مترمکعب در سال آبی ۸۴-۸۵

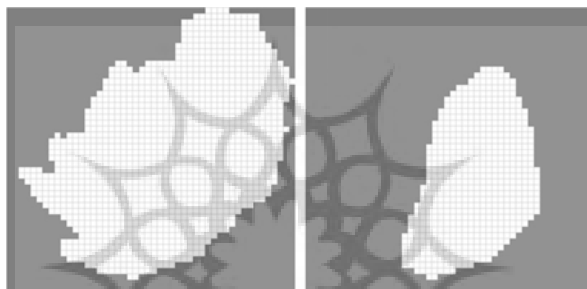
AV	خروجی				ورودی					
	جمع	تبخیر	خروجی زیرزمینی	برداشت زیرزمینی	جمع	برگشت آب شرب	برگشت آب زراعی	ورودی زیرزمینی	نفوذ سطحی	نفوذ بارندگی
۱۷/۶۵	۲۲۴/۳۱	۱/۵	۰	۲۲۱/۸۱	۲۴۱/۹۵	۷/۹	۶۱/۷۷	۱۵۳/۳۶	۱۱/۲۴	۷/۶۸

#### مدلسازی آبخوان دشت اسدآباد

منابع تغذیه در دشت اسدآباد شامل بارندگی، آب زیرزمینی ورودی، نفوذ ناشی از رواناب‌ها و آب برگشتی ناشی از مصارف کشاورزی، صنعتی و شرب می‌باشد. در بخش مربوط به تخلیه نیز آب استخراجی توسط چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و آب زیرزمینی خروجی از دشت می‌باشد. نقشه سنگ بستر نیز با داشتن نقشه‌های توپوگرافی منطقه و هم ضخامت آبرفت، لاگ حفاری پیرومترها و بررسی عمق آن‌ها تهیه گردید. در بخش‌های شمال شرقی محدوده مطالعاتی، سنگ کف در عمق کمی قرار داشته و با حرکت به سمت مرکز دشت، ضخامت آبخوان و به دنبال آن عمق

سنگ کف، افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج زمین‌شناسی، لاگ چاه‌ها و ژئوفیزیک، آبخوان منطقه به صورت دو لایه در نظر گرفته شد.

برای شبکه‌بندی آبخوان دشت اسدآباد از سلول‌هایی با ابعاد  $500 \times 500$  متر برای پوشش آبخوان استفاده گردید. در پایان شبکه‌ای متشکل از ۲۳۵۲ سلول ( $48 \times 49$ ) تهیه گردید. شکل ۵ نشان‌دهنده شبکه‌بندی آبخوان دشت اسدآباد می‌باشد. در مدل حاضر بنابر شرایط آبخوان (نبود دریاچه و یا رودخانه با سطح آب ثابت بر روی زمین) سلول با بار ثابت وجود نداشته و مدل متشکل از شبکه‌ای با سلول‌های فعال و غیرفعال است. شبکه جدا شده از دشت شامل سلول‌های فعال بوده و سلول‌های غیرفعال در حاشیه مرزبندی دشت به صورت خاکستری رنگ قرار دارند.



شکل ۵: شبکه بندی لایه اول و لایه دوم آبخوان اسدآباد

آمار چاه‌های مشاهداتی دشت اسدآباد به صورت ماهانه می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به الگوی کشت، برداشت از چاه‌های بهره‌برداری و نیز وضعیت بارش در منطقه ۱۲ دوره تنش یک ماهه در سال آبی ۸۵-۸۴ در نظر گرفته شد. گام‌های زمانی نیز به صورت ماهانه در نظر گرفته شد. در مدل آبخوان دشت اسدآباد به منظور ساخت مدل در شرایط ماندگار از آمار مهر ۱۳۸۴ که در آن سطح ایستابی در طول ماه تقریباً ثابت می‌باشد، استفاده گردید. قابل ذکر است که در مدل آبخوان دشت اسدآباد، واحد اندازه‌گیری زمان، روز در نظر گرفته شد.

مدل برای آغاز محاسبات تفاضل محدود، به مقدار اولیه نیازمند است. این مقادیر در آغاز مدل‌سازی کمی، سطح ایستابی در آغاز فرآیند است. در این مطالعه ارتفاع سطح ایستابی به دست آمده از پیژومترها هر لایه در مهر ۱۳۸۴ به عنوان مقادیر اولیه انتخاب و پس از ابزار درونیابی مدل برای هر لایه تعریف گردید.

### ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان

هدایت هیدرولیکی بحرانی‌ترین و حساس‌ترین پارامتر در تهیه مدل است. متأسفانه برای آبخوان دشت اسدآباد مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی بدست آمده از آزمایشات پمپاژ نامطمئن و محدود به تعداد کمی آزمایش پمپاژ است. در نتیجه با استفاده از همین نتایج و همچنین با استفاده از داده‌های قابلیت انتقال و ضخامت آبرفت مقادیر اولیه‌ای برای ضریب هدایت هیدرولیکی در سلول‌های مدل در نظر گرفته شد. از آنجا که مقادیر واقعی پارامترهای مذکور در سطح آبخوان موجود نبوده، بنابراین مقادیر بدست آمده در طی عمل واسنجی به کرات برای هر لایه اصلاح شده است.

### واسنجی مدل

در معادله حاکم بر جریان در محیط متخلخل آب زیرزمینی با در نظر گرفتن شرایط ماندگار، سمت راست معادله برابر صفر می‌گردد. بر همین مبنا و با احتساب متغیر بودن هدایت هیدرولیکی در نقاط مختلف دشت، رابطه جریان در شرایط ماندگار و غیر همگن به صورت معادله ۳ در می‌آید:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - R = 0 \quad (3)$$

پارامترهای متغیر در معادله فوق، هدایت هیدرولیکی و میزان تغذیه و تخلیه است. برای محاسبه و واسنجی هدایت هیدرولیکی باید شرایط ماندگار را در سیستم اعمال نمود. پس از بررسی تغییرات ارتفاع آب در هیدروگراف، تغییرات سطح آب در ماه اول شبیه‌سازی (مهر ۱۳۸۴) در اکثر پیزومترها ناچیز بود. در این مقطع زمانی می‌توان میزان تخلیه و تغذیه را یکسان و شرایط را ماندگار فرض کرد. با این فرض عبارت R از معادله فوق حذف شده و معادله ۴ به دست می‌آید که تنها مجهول آن هدایت هیدرولیکی است.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (4)$$

با واسنجی مدل در شرایط مرزی معلوم و ارتفاع آب اندازه‌گیری شده در پیزومترها و با استفاده از مدل معکوس PEST حدود هدایت هیدرولیکی در دشت تعیین گردید. سپس در طی چندین مرحله تغییر مرزبندی در بازه تغییرات هدایت هیدرولیکی به روش معکوس، نهایتاً به صورت دستی مراحل پایانی واسنجی اعمال گردید.

همچنین مطابق با معادلات ارائه‌شده رفتار جریان در حالت غیرماندگار با لحاظ نمودن تغذیه و تخلیه برابر، معادله ۵ به دست می‌آید:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5)$$

با ثابت نگه داشتن هدایت هیدرولیکی به دست آمده در حالت ماندگار، این‌بار تنها مجهول معادله آبدی ویژه ( $S_s$ ) است. بنابراین در همان دوره یک ماهه واسنجی هدایت هیدرولیکی، در شرایطی که میزان تخلیه و تغذیه با برابری حذف شده بود، مدل با وضعیت غیر ماندگار اجرا شد و آبدی ویژه ابتدا توسط PEST و سپس بصورت دستی واسنجی گردید.

### صحت سنجی مدل

همانطور که بیان شد مدل‌سازی آبخوان دشت اسدآباد، در یک دوره یکساله و حدفصل مهر ۸۴ تا شهریور ۸۵ انجام شد. برای اطمینان از صحت شبیه‌سازی باید مدل تهیه شده با داده‌ها و شرایط واقعی مورد ارزیابی واقع گردد. مدل آبخوان دشت اسدآباد با اعمال آمار و اطلاعات محیطی در سال آبی ۸۶-۸۵ صحت سنجی گردید.



### آنالیز حساسیت

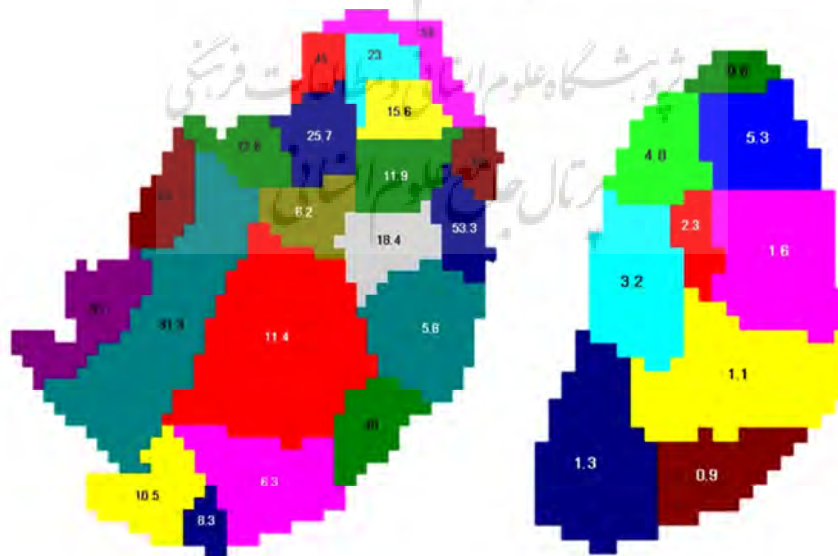
برای آنالیز حساسیت به عوامل واسنجی شده، به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد مقدار اولیه به آن اضافه یا کم می‌شود، در حال که بقیه داده‌های ورودی ثابت می‌مانند. در شش حالت جدید ایجاد شده، مدل اجرا و واریانس خطای به دست آمده با سایر مقادیر ترسیم و مقایسه می‌شود. حساس‌ترین عوامل پارامترهایی هستند که با درصد تغییرات اعمال شده، بیشترین واریانس خطا را ایجاد کنند.

### نتایج و بحث

#### واسنجی هدایت هیدرولیکی

نقشه هدایت هیدرولیکی به دست آمده از مرحله واسنجی مدل در شکل ۶ آمده است. مقدار هدایت هیدرولیکی برای لایه اول بین ۰/۶ تا ۵/۳ متر بر روز تعیین گردید. به طور کلی در لایه اول به سمت جنوب هدایت هیدرولیکی کاهش یافته است.

در لایه دوم هدایت هیدرولیکی دامنه نوسان زیادی دارد و بین ۵/۸ تا ۶۳ متر بر روز است. بیش‌ترین هدایت هیدرولیکی به ناحیه پیزومتر ۱۲ تعلق دارد که این پیزومتر فاصله کمی با محل تغذیه مصنوعی خنداب دارد که خود نشان‌دهنده هدایت هیدرولیکی بالای آن است کم‌ترین هدایت هیدرولیکی در سمت جنوب و مرکز دشت و همچنین در محل پیزومتر ۱۵ است. در حاشیه شمالی دشت هم به علت مخروط‌افکنه، هدایت هیدرولیکی خوب است و به سمت پیزومتر ۱۳ هدایت هیدرولیکی کاهش یافته است.



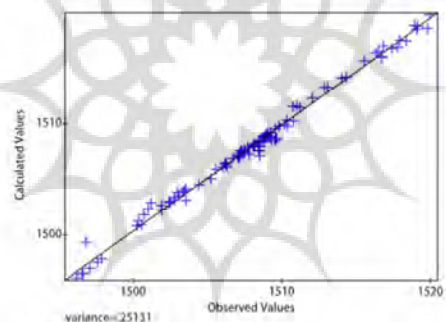
شکل ۶: مقادیر هدایت هیدرولیکی پس از واسنجی بر حسب متر بر روز

### واسنجی آبدهی ویژه

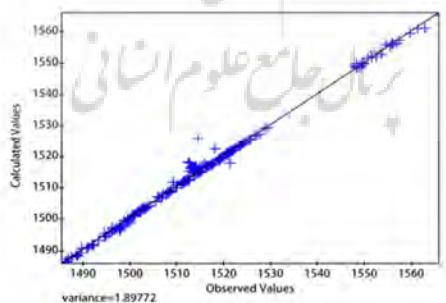
دومین پارامتر واسنجی شده، آبدهی ویژه در شرایط غیرماندگار است. مقدار آبدهی ویژه در لایه اول بین  $0/0014$  تا  $0/05$  و در لایه دوم بین  $0/3$  تا  $0/05$  در نقاط مختلف متغیر است. در لایه اول بیشترین مقدار آن در حوالی پیژومتر ۲ و کمترین مقدار آن در جنوب و حوالی پیژومتر ۹ است و در لایه دوم بیشترین مقدار آن در حوالی ۱۲ و کمترین مقدار در حوالی پیژومتر ۱۵ است در مرکز دشت نیز میزان آبدهی ویژه کم هست.

### مقایسه بارهای هیدرولیکی شبیه‌سازی و مشاهده‌ای

واریانس خطای به‌دست آمده در پایان واسنجی در تمام نقاط مشاهده‌ای در کل ۱۲ ماه در لایه اول (شکل) برابر  $0/25$  و در لایه دوم برابر  $1/89$  (شکل) است. قابل ذکر است که در مورد میزان خطای مورد انتظار به واکاوی در منابع مختلف پرداخته شد.



شکل ۷: مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی در کل دوره‌های تنش در لایه اول

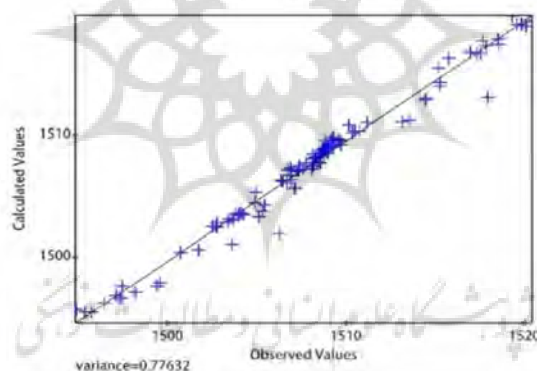


شکل ۸: مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی در کل دوره‌های تنش در لایه دوم

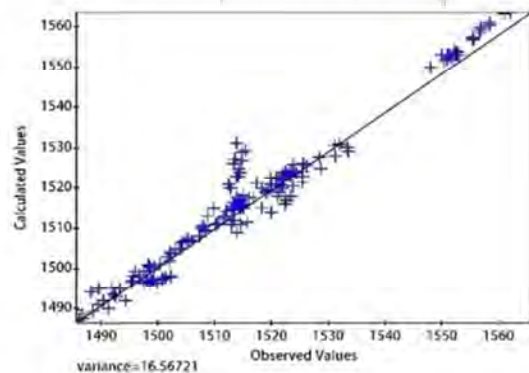
طبق نتایج حاصله پیژومترهای لایه اول دارای واریانس کمتری در مقایسه با پیژومترهای لایه دوم آبخوان هستند. نتایج حاصل از واسنجی مدل MODFLOW در دشت ملایر نشان داد که مدل توانایی شبیه‌سازی آبخوان را ندارد (بهشتی و همکاران، ۱۳۸۵).

## صحت‌سنجی

همان‌طور که از شکل ۹ و شکل ۱۰ مشخص است، مدل واسنجی شده در مرحله صحت‌سنجی در لایه اول با درصد خطای قابل قبولی توانسته شرایط آبخوان را شبیه‌سازی کند، ولی در لایه دوم مدل نتوانسته به خوبی شرایط طبیعی حاکم را شبیه‌سازی کند و لذا در بعضی از قسمت‌ها خطاهایی قابل توجهی وجود دارد. دلیل اصلی خطا در لایه دوم را می‌توان عدم وجود در پیرومتر در مرکز دشت دانست و به عبارتی دیگر در بخش بسیار گسترده‌ای از لایه دوم سطح پیرومتری مجهول است لذا مجهول بودن عامل فوق باعث گردید که صحت سنجی در لایه دوم به درستی صورت نگیرد. از عوامل دیگر ایجاد خطا در فرایند صحت سنجی لایه دوم می‌توان به عدم مقبولیت مدل، ابهام در مرز لایه‌های آبخوان، عدم دقت مطالعات ژئوالکتریک و سنگ کف منطقه، ناکافی بودن و عدم صحت آزمایش‌های پمپاژ جهت برآورد هدایت هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال، محاسبه نشدن آبدهی ویژه از طریق آزمایش پمپاژ، کامل نبودن آمار مربوط به منابع آب‌های سطحی اشاره کرد. لذا صحت‌سنجی موکول به معلوم شدن سطح پیرومتری در مرکز دشت برای لایه دوم و سایر عوامل گردید. در نتیجه در این تحقیق صحت سنجی صورت نگرفت.



شکل ۹: مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی لایه اول در کل دوره تنش



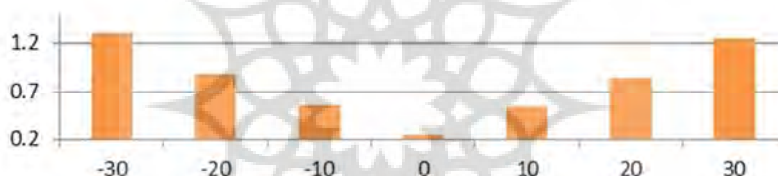
شکل ۱۰: مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی لایه دوم در کل دوره تنش

### آنالیز حساسیت

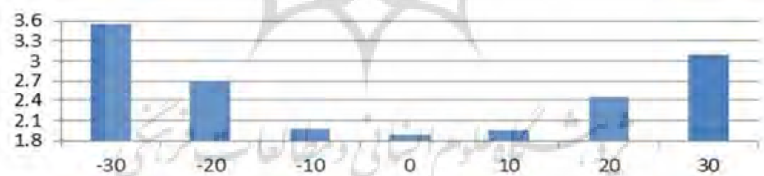
برای بررسی حساسیت مدل واسنجی شده در دشت اسدآباد به تغییرات هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، مقدار نرخ بهره‌برداری از چاه‌ها، و تراز سنگ کف، هر یک از پارامترها در دامنه عدم قطعیت ۳۰ درصد تغییر داده شد و مدل برای هر مورد به صورت جداگانه اجرا گردید.

### آنالیز حساسیت هدایت هیدرولیکی

همان‌طور که در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ دیده می‌شود در لایه اول با کاهش و افزایش هدایت هیدرولیکی میزان خطا افزایش می‌یابد و در لایه دوم تأثیر کاهش و افزایش هدایت هیدرولیکی بر میزان خطا به مرور کلی مشابه است ولی با کاهش هدایت هیدرولیکی میزان خطا بیشتر افزایش می‌یابد که ناشی از کاهش توانایی آبخوان برای تأمین آب استحصالی است.



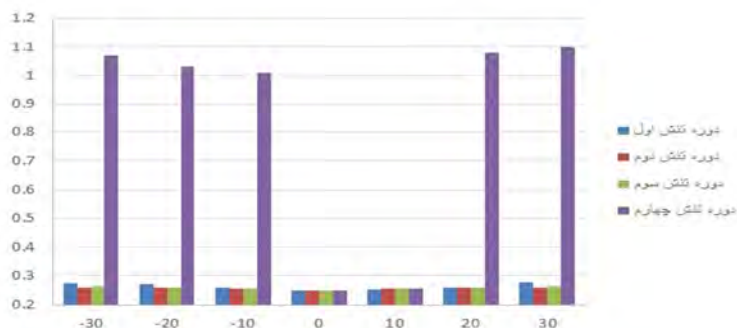
شکل ۱۱: آنالیز حساسیت هدایت هیدرولیکی در لایه اول



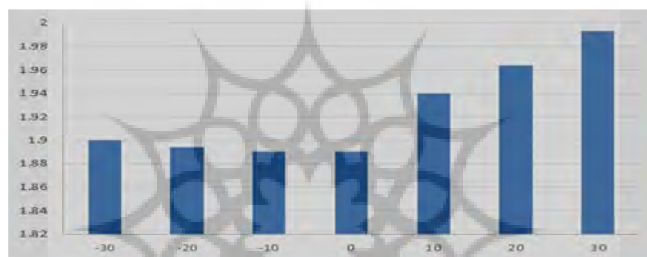
شکل ۱۲: آنالیز حساسیت هدایت هیدرولیکی در لایه دوم

### آنالیز حساسیت آبدهی ویژه

همان‌طور که در شکل ۱۳ دیده می‌شود حساسیت مدل به این پارامتر بسیار کم است چرا که مقدار آبدهی ویژه در لایه اول عدد کوچکی است و تغییر ۲۰ درصدی آن چندان تأثیری بر مقدار آبدهی ویژه و در نتیجه مدل ندارد با این حال در این لایه در دوره تنش چهارم با کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی آبدهی ویژه میزان خطا افزایش می‌یابد چرا که در آبدهی ویژه کم، نوسان سطح آب نسبت به تغذیه و یا تخلیه بالا می‌رود. همچنین با توجه به شکل ۱۴ در لایه دوم با افزایش آبدهی ویژه میزان خطا افزایش می‌یابد و با کاهش آن مقدار آبدهی ویژه تغییر چندانی نمی‌نماید.



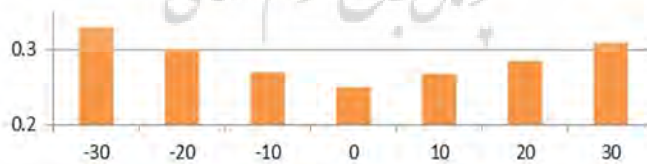
شکل ۱۳: آنالیز حساسیت آبدهی ویژه در لایه اول



شکل ۱۴: آنالیز حساسیت آبدهی ویژه در لایه دوم

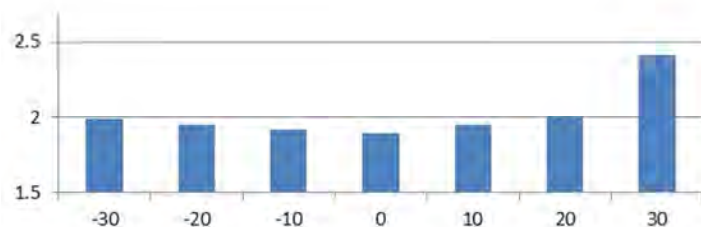
### آنالیز حساسیت سنگ کف

همان‌طور که در شکل ۵ دیده شود حساسیت مدل در لایه اول به این پارامتر کم است البته با پایین بردن سنگ کف لایه اول حساسیت بیشتر شود چرا که با پایین بردن سنگ کف، ضخامت اشباع بیشتر شود و از جوانب آب بیشتری وارد لایه اول می‌گردد ضمن آن که با زیاد کردن ضخامت اشباع به علت اضافه شدن ضخامت غیر همگن به لایه اول، مقدار خطا افزایش می‌یابد.



شکل ۱۵: آنالیز حساسیت سنگ کف در لایه اول

همچنین با توجه به شکل ۱۶ لایه دوم مدل به پایین بردن سنگ کف حساسیت کمی دارد ولی به بالا بردن سنگ کف حساسیت نشان می‌دهد چرا که با بالا بردن سنگ کف در حاشیه دشت که ضخامت اشباع کم است سلول‌های حاشیه‌ای خشک می‌شوند.



شکل ۱۶: آنالیز حساسیت سنگ کف در لایه دوم

### بررسی قابلیت آسیب‌پذیری دشت از نظر پدیده فرونشست

با توجه عوامل مؤثر در فرآیند پدیده فرونشست قابلیت آسیب‌پذیری دشت از نظر پدیده فرونشست را می‌توان بررسی کرد.

#### الف- پمپاژ و افت سطح آب زیرزمینی

بررسی آمار موجود حاکی از افت مستمر سطح آب سفره (۱۷ متر) است که باعث تبدیل چاه‌های نیمه عمیق و دستی به چاه‌های عمیق کشاورزی شده است. برداشت‌های بی‌رویه و افت مداوم سطح آب، باعث افزایش تنش‌های مؤثر وارد بر آبخوان و منجر به افزایش قابلیت آسیب‌پذیری دشت از نظر پدیده فرونشست می‌گردد. به دلیل آن که تا به حال مطالعات دقیقی در خصوص این موضوع انجام نشده و اندازه‌گیری‌های دقیقی جهت اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر انجام نشده نمی‌توان میزان دقیق نشست آن را بیان کرد.

#### ب- ضخامت آبخوان

با توجه به افزایش قابل‌ملاحظه ضخامت در قسمت‌های مرکزی و جنوبی دشت اسدآباد تنش مؤثر با توجه به ضخامت رسوبات در این قسمت از دشت بیشتر بوده و به نظر می‌رسد، فرونشست در اثر افت آب زیرزمینی نسبت به مناطق دیگر آبخوان شدت بیشتری داشته باشد.

#### پ- جنس آبخوان

با بررسی لاگ‌های چاه‌های اکتشافی و لاگ‌های چاه‌های مشاهداتی در دشت مشخص شد که به سمت مناطق مرکزی و جنوبی دشت بر میزان خاک‌های ریزدانه (رسی و سیلتی) در اعماق افزایش پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان فرونشست بیشتری در اثر افت سطح آب زیرزمینی بیشتری با توجه به جنس در این مناطق انتظار داشت.

#### ت- وجود آبخوان تحت فشار

در قسمت مرکزی و جنوبی دشت سفره آزاد بالایی (لایه اول) توانایی تأمین آب مورد نیاز چاه‌های بهره‌برداری منطقه را ندارد لذا اکثر کشاورزان آب مورد نیاز خود را از سفره تحت فشار تهیه می‌کنند. همچنین تغذیه آبخوان تحت فشار نیز تنها از حاشیه دشت صورت می‌گیرد که در اثر افزایش برداشت آب در حواشی دشت در طی سال‌های اخیر بسیار کاهش یافته است. بنابراین افزایش میزان برداشت از منابع سفره محصور در مرکز دشت، همچنین کاهش قابل‌ملاحظه

میزان تغذیه سفره تحت فشار و عدم تعادل در وزن لایه فوقانی (لایه اول)، مناطق مرکزی و جنوبی دشت را برای بروز پدیده نشست مستعدتر می‌نماید.

### نتیجه‌گیری

مدل آب‌های زیرزمینی با خطای قابل قبولی در سال آبی ۸۵-۸۴ واسنجی شد. واریانس خطای به‌دست آمده در پایان واسنجی در تمام نقاط مشاهده‌ای در کل ۱۲ ماه در لایه اول برابر ۰/۲۵ و در لایه دوم برابر ۱/۸۹ است. مقدار هدایت هیدرولیکی برای لایه اول بین ۰/۶ تا ۵/۳ متر بر روز و در لایه دوم بین ۵/۸ تا ۶۳ متر بر روز است. مقدار آبدهی ویژه در لایه اول بین ۰/۰۰۱۴ تا ۰/۰۵ و در لایه دوم بین ۰/۰۵ تا ۰/۳ در نقاط مختلف متغیر است. در طی سال آبی ۸۵-۸۴ در لایه اول سطح آب بالا آمده و در لایه دوم سطح آب پایین رفته است.

نتایج حاصل از اجرای مدل در سال ۸۵-۸۶ نشان داد مدل واسنجی شده در مرحله صحت سنجی نتوانسته است به‌خوبی شرایط طبیعی آبخوان را شبیه‌سازی کند و در لایه دوم مقدار خطای قابل ملاحظه‌ای وجود دارد. دلیل اصلی وجود خطا و عدم مقبولیت مدل را می‌توان به پخش نامناسب و کافی نبودن پیژومترها در بخش وسیعی از لایه دوم دانست. لذا صحت‌سنجی موکول به معلوم شدن سطح پیژومتری در مرکز دشت برای لایه دوم و سایر عوامل گردید. در نتیجه در این تحقیق صحت سنجی صورت نگرفت. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت در کل نشان داد مدل به تغییرات هدایت هیدرولیکی حساسیت بالاتری نسبت به سایر پارامترها دارد.

همچنین افزایش بهره‌برداری از منابع آب یا کاهش سطح ایستابی در دشت باعث کاهش فشار هیدرولیکی و در نتیجه افزایش تنش کل در دشت گردیده است. این مسئله قابلیت آسیب‌پذیری دشت را نسبت به پدیده نشست افزایش داده است. با بررسی عوامل مؤثر بر پدیده فرونشست زمین (افت سطح آب، جنس آبخوان، ضخامت آبخوان و وجود سفره تحت فشار) مشخص شد که مناطق مرکزی و جنوبی دشت قابلیت آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به پدیده فرونشست دارند.

### منابع

- بهشتی، علی سحاب، (۱۳۸۵)، مطالعه هیدروژئولوژی دشت ملایر و ارائه مدل ریاضی آن با استفاده از کد مادفلو جهت مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.
- دفتر مطالعات پایه منابع آب، (۱۳۸۷)، گزارش مطالعه آب‌های زیرزمینی دشت اسداباد در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ و توجیه تمدید ممنوعیت توسعه بهره‌برداری، وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت سهامی آب منطقه‌ای همدان.
- Hadded R., Nouri I., Alshihabi O., Maßmann J., Huber M., & Laghouane A. (2013), A Decision Support System to Manage the Groundwater of the Zeuss Koutine Aquifer Using the WEAP-MODFLOW Framework. *Water Resour Manage*, 27 (7), 1981-2000.
- Lachaal, F., Mlayah, A., Bédir, M., Tarhouni, J., & Leduc, C., (2012), Implementation of a 3-D groundwater flow model in a semi-arid region using MODFLOW and GIS tools: The Zéramdine-Béni Hassen Miocene aquifer system (east-central Tunisia), *Computers & Geosciences*, 48, 187-98.
- Liu, C.W., Lin, C.N., Jang, C.S., Chen, C.P., Chang, J.F., Fan, C.C. & Lou, K.H., (2006), Sustainable groundwater management in Kinmen Island, *Hydrological Processes*, 20, 4363-4372.

Liu, C.W., Chou, Y.L., Lin, S.T., Lin, G.J. and Jang, C.S., (2010), Management of high groundwater level aquifer in the Taipei Basin, *Water Resources Management*, 24 (13), 3513–3525.

McDonald, M.G. & Harbaugh, A.W., (1988), A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model, US Geological Survey Open-file Report, 83-875.

Rejani, R., Jha, M.K., Panda, S.N., & Mull, R., (2008), Simulation modeling for efficient groundwater management in Balasore coastal basin, India, *Water Resources Management*, 22 (1), 23–50.

Salcedo-Sánchez, E.R., Esteller, M.V., Hoyos, S.E.G., & Martínez-Morales, M., (2013), Groundwater optimization model for sustainable management of the Valley of Puebla aquifer, Mexico, *Environ Earth Sci*, 70(1), 337–51.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی



## **Modeling Alluvial Aquifer Using PMWIN software and Evaluation of Subsidence Phenomenon in Asadabad plain, Hamedan Province, Iran**

**Abdullah Taheri Tizro<sup>\*1</sup>, Seyyed Abolfazl Hosseini<sup>2</sup>, Morteza Kamali<sup>3</sup>**

Received: 03-03-2017

Accepted: 09-12-2017

### **Abstract**

The Study area in Asadabad plain is part of the Karkhe river watershed. Reduce in rainfall and increase in exploitation of groundwater resources led to a sharp drop in groundwater levels and subsidence's phenomenon in recent years has. The aim of this study is the hydrogeological evaluation, a better understanding of aquifer and optimal utilization of groundwater resources by using available data. In order to provide the mathematical model, geological, meteorological, hydrological and hydrogeological data were collected and then analyzed. Then according to the aquifer's conceptual model, the mathematical model was developed with PMWIN software. The model was implemented and calibrated for 2006-2007 with 12 stress periods. The sensitivity analysis showed that model has a more sensitive to hydraulic conductivity. The model was verified with observed data for next year (2007-2008). The results show that model is unable to simulate aquifer's natural conditions. The main reason was the uncertainty in input data and lack of piezometers in a large part of the aquifer's second layer. Study the effective factors on subsidence phenomenon (groundwater level fall, aquifer's type, aquifer's thickness and existence confined aquifer) showed that the central and southern parts of the plain have more vulnerable capabilities than the subsidence phenomenon.

**Keywords:** Groundwater, Modeling, Asadabad aquifer, Subsidence, MODFLOW, PMWIN.

<sup>1\*</sup>- Associate Professor, Dept. of Water Engineering, College of Agriculture, BASU, Hamedan, Iran.

<sup>2</sup>- MSc. College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

<sup>3</sup>- MSc. College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.