

شبیه‌سازی آبخوان دشت تویسرکان با مدل MODFLOW و ارزیابی وضعیت آب زمین‌شناسی تحت شرایط موجود و آینده

عبدالله طاهری تیزرو^{۱*}، مرتضی کمالی^۲

چکیده

منابع آب زیرزمینی یکی از با ارزش‌ترین منابع طبیعی محسوب می‌شوند؛ از همین رو مدلسازی آب زیرزمینی در سال‌های اخیر به عنوان ابزاری قدرتمند در بحث‌های مدیریتی، بهینه‌سازی مصرف و پیش‌بینی منابع آب زیرزمینی مطرح شده است. هدف از این مطالعه، شبیه‌سازی آبخوان دشت تویسرکان با مدل MODFLOW در قالب نرم افزار PMWIN به عنوان مدلی کارآمد در مباحث آب زیرزمینی است. شبیه‌سازی برای یک دوره یک ساله شامل ۱۲ دوره‌ی تنش یک ماهه (مهر ۸۷ تا شهریور ۸۸) انجام شد. مدل مذکور برای ۱۰ ماه اول دوره‌ی شبیه‌سازی، واسنجی و با داده‌های مشاهداتی دو ماه باقیمانده، صحت‌سنجی شد. نتایج واسنجی در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار، نشان می‌دهند که هدایت آبی و آبدهی ویژه از حوالی شمال شرقی دشت به سمت مناطق میانی و خروجی دشت واقع در جنوب غربی آن افزایش می‌یابند. پس از صحت‌سنجی مدل و حصول اطمینان از توانایی آن در پیش‌بینی شرایط آینده‌ی آبخوان، اقدام به تعریف دو نمایشنامه‌ی ده ساله شد. در نمایشنامه‌ی نخست، ادامه‌ی روند کنونی برداشت آب زیرزمینی و در نمایشنامه‌ی دوم، افزایش بازده آبیاری منطقه به میزان ۲۰ درصد، و در نتیجه کاهش برداشت‌ها مدنظر قرار گرفت. نتایج حاصل از هر دو نمایشنامه، نشان‌دهنده‌ی کاهش سطح ایستابی در فشارسنج‌های دشت به جز در دو فشارسنج ۳ و ۶ است که با افزایش مواجه می‌شوند.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی، آب زیرزمینی، تویسرکان، نمایشنامه، MODFLOW

مقدمه

^۱ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
E-Mail: ttizro@yahoo.com و تلفن: ۰۹۱۸۱۱۹۰۰۵۲
^۲ کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

آب باران، سبب کاهش افت غالب در آب زیرزمینی می‌گردد. طاهری تیزرو و همکاران (۲۰۱۱) از مدل MODFLOW برای پیش‌بینی واکنش آبخوان به تغذیه‌ی مصنوعی انجام شده از طریق سازه‌ی تغذیه‌ی احداثی و ۱۳ چاه حفر شده، در دو حالت ملندگار و غیرملندگار، و تحت دو نمایشنامه‌ی متفاوت در حوضه‌ی بهار استان همدان، استفاده نمودند. با در نظر گرفتن شرایط بهنجار تغذیه به وسیله‌ی سازه‌ها، سطح ایستابی در محدوده‌ی مطالعه شده به میزان $1/7$ m افزایش یافت. نتایج این مطالعه نشان دادند که احداث سازه‌های تغذیه‌ی مصنوعی در مدیریت آب زیرزمینی در بخش‌هایی از دشت بهار مفید خواهد بود.

هدف از این مطالعه، شبیه‌سازی و ارزیابی شرایط آب زمین‌شناسی آبخوان با استفاده از مدل MODFLOW در دشت توپسرکان، استان همدان است. بررسی توان توسعه‌ی آب‌های زیرزمینی با توجه به در نظر گرفتن ویژگی‌های آبخوان منطقه، پیش‌بینی وضعیت آبخوان طی چند سال آینده در راستای تدوین برنامه‌ریزی‌های متناسب با نحوه‌ی تغییرات آبخوان، تعیین مناطق حساس و بحرانی آبخوان به منظور کنترل برداشت‌های غیر مجاز از دیگر اهداف این مطالعه هستند.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه شده

دشت توپسرکان در استان همدان با وسعت ۸۰۵ کیلومتر مربع، یکی از دشت‌های حوضه‌ی علیای رودخانه کرخه محسوب می‌شود و در جنوب کوه الوند قرار گرفته است. این دشت بین طول‌های جغرافیایی 35° و 34° شرقی و عرض‌های جغرافیایی 22° و 24° شمالی واقع شده است. وسعت آبخوان معادل ۱۵۰ کیلومتر مربع بوده و ۶۵۵ کیلومتر مربع دیگر نیز شامل ارتفاعات حاشیه دشت است. شیب عمومی دشت از شمال شرق به سمت جنوب غرب بوده و میزان متوسط شیب حوضه $3/8$ درصد است. متوسط بارندگی در دشت

شبیه‌سازی آب زیرزمینی در سال‌های اخیر به عنوان ابزاری قدرتمند در مباحث مدیریتی مطرح شده و در بهینه‌سازی مصرف و پیش‌بینی منابع آب زیرزمینی، به کمک مدیران و برنامه‌ریزان شتافته است (ژو و لی، ۲۰۱۱؛ جوسرت و همکاران، ۲۰۰۹؛ لاروک و همکاران، ۲۰۰۸). مدل عددی جریان آب زیرزمینی، MODFLOW، (مک‌دونلد و هارباگ، ۱۹۸۸) دارای استفاده فراوانی در سرتاسر جهان برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی (رجانی و همکاران، ۲۰۰۸؛ میتلستت و همکاران، ۲۰۱۱؛ السلما و همکاران، ۲۰۱۱)، مدیریت سطح آب زیرزمینی و استخراج آن (لثو و همکاران، ۲۰۱۰؛ لثو و همکاران، ۲۰۰۶) است. مدل MODFLOW شبیه‌ساز سه بعدی جریان آب زیرزمینی از طریق روش عددی تفاضلات محدود بوده و قادر است که جریان آب زیرزمینی را تحت شرایط پیچیده آبی و با فرایندهای گوناگون آب‌شناسی شبیه‌سازی نماید (ژو و لی، ۲۰۱۱).

مایرلس (۲۰۱۲) به بررسی مشکلات ناشی از شوری خاک و سطوح ایستابی بالا در مناطق تحت آبیاری دره‌ی جزریل واقع در سرزمین‌های اشغالی پرداخت. در این مطالعه از مدل جریان آب زیرزمینی MODFLOW برای شبیه‌سازی سطوح آب زیرزمینی و از روش‌های GIS برای تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از مدل جریان آب زیرزمینی و ارزیابی نواحی تحت خطر شوری تحت دو شرط آب زمین‌شناسی و در طول فصل خشک، بهره گرفته شد. نتایج نشان دادند که ۳۲۵ ha از منطقه دارای شوری خاک بالاست و ۶۲۷۵ ha از منطقه دارای شوری است. شیشر و همکاران (۲۰۱۱) مدل عددی MODFLOW را به همراه GIS در زیرحوضه‌ی رود بانگانگا در هند توسعه دادند. پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل، نمایشنامه‌های مختلف با تغییر بده چاه‌ها ارائه شد تا محل سازه‌هایی به منظور استحصال آب باران مشخص گردد. نتایج نشان دادند که افزایش بده چاه‌ها در نواحی مستعد، تنش کمتری را به آبخوان وارد می‌کند. محل‌های پیشنهادی برای سازه‌های استحصال

از بارندگی، ۳- نفوذ از جریانات سطحی، ۴- آب برگشتی زراعی، ۵- آب برگشتی مصارف شرب و بهداشت عوامل خروجی: ۱- جریان آب زیرزمینی خروجی، ۲- برداشت از آب زیرزمینی

ضرایب مربوط به آب برگشتی زراعی و مصارف شرب و صنعت بر اساس مطالعات آب منطقه‌ای در سال ۸۸- ۱۳۸۷ به ترتیب به میزان ۱۶ و ۵۵ درصد در نظر گرفته شد (دفتر مطالعات پایه منابع آب، ۲۰۰۹). در مورد نفوذ ناشی از بارش نیز با احتساب ضریب رواناب ۱۵ درصد، میزان بارش تبدیل شده به رواناب محاسبه و سپس ضریب نفوذ ۱۵ درصد نیز با توجه به جنس تهنشست‌ها آبرفتی لحاظ شد (دفتر مطالعات پایه منابع آب، ۲۰۰۹).

برآورد میزان نفوذ مستقیم از ریزش‌های جوی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی امکان‌پذیر است. جهت تعیین این مقدار از رابطه فائو (رابطه ۱) استفاده شده است (علیزاده، ۲۰۰۷).

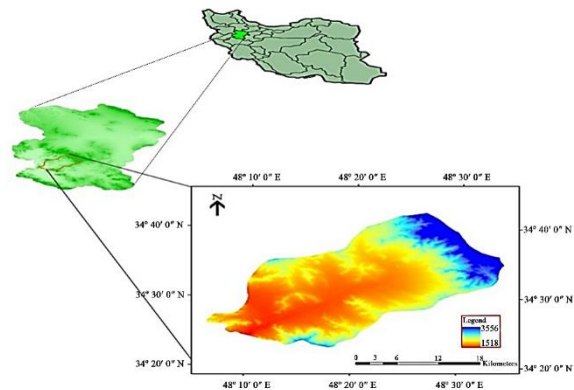
$$F = \sum_{i=1}^{12} 0.8(R - C \log E) \quad (1)$$

که F میزان نفوذ سالانه بر حسب E , mm تبخیر تفرق توان ماهانه بر حسب R , mm بارندگی ماهانه بر حسب C , mm ضریب ثابت وابسته به دما که از رابطه‌ی $C = 0.69177T^{0.3981}$ به دست می‌آید. T نیز متوسط دمای ماهانه ($^{\circ}C$) است. در این معادله E بر اساس روش تورنت‌وایت محاسبه شده و از آن در رابطه فائو استفاده قرار شده است. پس از انجام محاسبات بالا، ضریب ۱۱ درصد برای نفوذ بارش در نظر گرفته شد. در مطالعات پیشین ضریب نفوذ ۱۵ درصد برای بارش‌های روی داده در منطقه در نظر گرفته شده بود (دفتر مطالعات پایه منابع آب، ۲۰۰۹).

مدل سازی آبخوان دشت توپسرکان

برای شبکه بندی آبخوان دشت توپسرکان، از سلول‌هایی با ابعاد 500×500 متر برای پوشش آبخوان استفاده شد. در پایان شبکه‌ای متشکل از ۳۵۶۴ سلول

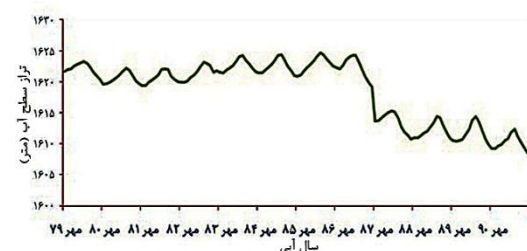
تویسرکان برای یک دوره‌ی آماری ۱۸ ساله، ۴۳۰ میلی‌متر گزارش شده است (دفتر مطالعات پایه منابع آب، ۲۰۰۹). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دشت توپسرکان را به همراه پستی و بلندی دشت نشان می‌دهد. میزان متوسط دمای ماهانه در دوره‌ی آماری ۲۳ ساله نیز برابر با $12/6$ درجه‌ی سانتی‌گراد است. بر اساس مطالعات صورت گرفته، نوع آبخوان دشت توپسرکان، آبخوان آزاد است (دفتر مطالعات پایه منابع آب، ۲۰۰۹).



شکل ۱- دشت توپسرکان در استان همدان

آب‌زمین‌شناسی و تراز آب زیرزمینی در منطقه‌ی مطالعه

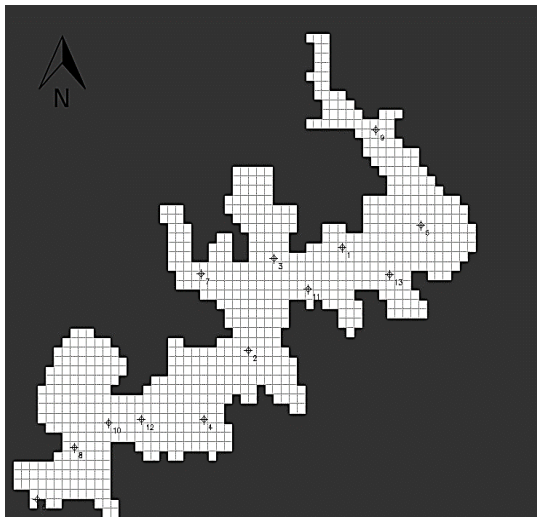
ترسیم آب‌نگار واحد آبخوان دشت توپسرکان (شکل ۲) از سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ تا ۹۱-۱۳۹۰ نشان داد که سطح ایستابی در طول این مدت افتی را در حدود ۱۰ متر داشته است. عواملی نظیر برداشت بیش از حد، کاهش بارندگی و عدم برنامه‌ریزی‌های جامع در زمینه‌ی مدیریت مناسب آب زیرزمینی منجر به چنین افتی شده‌اند.



شکل ۲- آب‌نگار واحد آبخوان توپسرکان

عوامل تراز در آبخوان دشت توپسرکان بدین شرحند: عوامل ورودی: ۱- جریان زیرزمینی ورودی، ۲- نفوذ ناشی

به الگوی کشت، برداشت از چاه‌های بهره‌برداری، و نیز وضعیت بارش در منطقه، ۱۲ دوره تنش یک ماهه در



شکل ۳- موقعیت فشارسنج‌های استفاده شده در شبیه‌سازی آبخوان دشت توپسرکان

سال آبی ۸۸-۸۷ در نظر گرفته شدند. گام‌های زمانی نیز به صورت ماهانه در نظر گرفته شدند. در معادله‌ی حاکم بر جریان در محیط متخلخل آب زیرزمینی با در نظر گرفتن شرایط ماندگار، سمت راست معادله برابر با صفر می‌گردد. بر همین مبنا، و با احتساب متغیر بودن هدایت آبی در نقاط مختلف دشت، رابطه‌ی جریان در شرایط ماندگار و غیر همگن به صورت زیر در می‌آید:

$$(۲) \quad \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - R = 0$$

فشارسنج‌های متغیر در معادله‌ی فوق، هدایت آبی (K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}) و میزان تغذیه و تخلیه (R) است. برای محاسبه و واسنجی هدایت آبی باید شرایط ماندگار را در سامانه اعمال نمود. پس از بررسی تغییرات ارتفاع آب در تمامی فشارسنج‌های سطح دشت در سال آبی ۱۳۸۷-۸۸، سطح آب در ماه چهارم شبیه‌سازی (دی ۱۳۸۷) در اکثر فشارسنج‌ها تقریباً یکسان بود. در این مقطع زمانی

تهیه شد. در مدل حاضر، بنابر شرایط آبخوان (نبود دریاچه و یا رود با سطح آب ثابت بر روی زمین) سلول با بار ثابت وجود نداشته و مدل متشکل از شبکه‌ای با سلول‌های فعال و غیرفعال است. یکی از مهمترین مراحل ساخت مدل، شناخت درست مرزها و اعمال شرایط مرزی است. مرزهای شبیه‌سازی شده در این مطالعه، شامل مرز بدون جریان^۱ و مرز بار عمومی^۲ هستند.

یکی از اطلاعات لازم در ساختن مدل، ضخامت هر لایه است. از آنجا که هم کف و هم سقف لایه‌ها یک سطح مستوی نبوده و دارای پستی و بلندی است، از این رو ضخامت لایه در نقاط مختلف، متغیر است که بایستی محاسبه و وارد مدل گردد. فایل‌های ورودی به مدل PMWIN باید دارای فرمت DAT به شکل ماتریسی متناسب با نوع شبکه‌بندی مدل باشند؛ از این رو، مدل PMWIN دارای توانایی درونیابی با توجه به نوع شبکه‌بندی مدل در قالب ابزار Field Interpolator است. این ابزار از چهار روش Shepard's Inverse Distance، Renka's، Akima's bivariate interpolation و triangulation Kriging به منظور درونیابی استفاده می‌کند. با توجه به زمین آمار بودن روش Kriging، مشخصات واریوگرام مربوط به این روش برای هر گروه از داده‌ها (تراز سنگ کف، تراز سطح زمین و تراز سطح ایستابی) در نرم افزار GS+ تعیین، مدل گوسی انتخاب شد و وارد ابزار Field Interpolator شد.

در شبیه‌سازی آبخوان دشت توپسرکان از ۱۳ حلقه چاه مشاهداتی استفاده شده است (شکل ۳). تراز سطح ایستابی در این چاه‌ها به صورت ماهانه اندازه‌گیری شده است.

واسنجی مدل

برای شبیه‌سازی آبخوان دشت توپسرکان و با توجه

² General-Head Boundary

¹ No Flow Boundary

تویسرکان با اعمال آمار و اطلاعات محیطی دو ماه مرداد و شهریور ۱۳۸۸ صحت سنجی شد.

تحلیل حساسیت

برای تحلیل حساسیت به عوامل واسنجی شده، به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد مقدار اولیه به آن‌ها، اضافه یا کم می‌شود، در حالی 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 فراسنجی هستند که با درصد تغییرات اعمال شده، بیشترین واریانس خطا را ایجاد کنند.

تعریف نمایشنامه‌ها برای انجام پیش‌بینی به

وسیله‌ی مدل

پس از صحت‌سنجی مدل، پیش‌بینی برای یک دوره ده ساله تا شهریور ۱۳۹۸ انجام پذیرفت. به منظور تعریف نمایشنامه باید پیش‌بینی از شرایط آینده دشت نظیر بارش به عنوان عامل تغذیه صورت پذیرد؛ بدین منظور از آمار و اطلاعات ۴ ایستگاه بابا پیرعلی (۲۰ ۴۸ شرقی و ۳۷ ۳۴ شمالی در ارتفاع ۱۸۹۰ متری از سطح دریا)، سرابی (۲۸ ۴۸ شرقی و ۲۱ ۳۴ شمالی در ارتفاع ۱۹۲۰ متری از سطح دریا)، آغاجاناغی (۰۳ ۴۸ شرقی و ۵۰ ۳۴ شمالی در ارتفاع ۱۸۰۲ متری از سطح دریا)، و خسروآباد (۰۲ ۴۸ شرقی و ۳۷ ۳۴ شمالی در ارتفاع ۱۵۲۵ متری از سطح دریا) استفاده شد. برای پیش‌بینی بارش به صورت ماهانه از روش فراگمنت استفاده شد. برای به کارگیری این روش ابتدا می‌بایست از روشی نظیر مارکوف که برای مقادیر سالانه کاربرد دارد، مقادیر سالانه بارش را پیش‌بینی نمود (هان، ۲۰۰۲).

برای پیش‌بینی بارش سالانه با کاربرد روش مارکوف، از رابطه‌ی ۵ استفاده می‌گردد که بارش هر سال را از روش بارش سال قبل خود برآورد می‌کند.

(۵)

$$X_{i+1} = \bar{X} + r_1(X_i - \bar{X}) + S * t_i * \sqrt{(1 - r^2)}$$

می‌توان میزان تخلیه و تغذیه را یکسان، و شرایط را ملندگار فرض کرد. با این فرض عبارت R از معادله‌ی فوق حذف شده و رابطه‌ی زیر به دست می‌آید که تنها مجهول آن هدایت آبی است.

(۳)

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

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

همچنین، مطابق با معادلات ارائه شده، رفتار جریان در حالت غیرملندگار با لحاظ نمودن تغذیه و تخلیه‌ی برابر، معادله‌ی زیر به دست می‌آید:

(۴)

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

با ثابت نگه داشتن هدایت هیدولیکی به دست آمده در حالت ملندگار، این‌بار تنها معادله مجهول آبدهی ویژه (S_s) است. بنابراین در همان دوره‌ی یک ماهه‌ی واسنجی هدایت آبی، در شرایطی که میزان تخلیه و تغذیه با برابری حذف شده باشد، مدل با وضعیت غیر ملندگار اجرا شد و آبدهی ویژه ابتدا به وسیله‌ی PEST و سپس به صورت دستی واسنجی شد.

صحت‌سنجی

شبیه‌سازی آبخوان دشت تویسرکان، در یک دوره‌ی یک‌ساله و حداقل مهر ۸۷ تا شهریور ۸۸ انجام شد. برای اطمینان از صحت شبیه‌سازی باید مدل تهیه شده با داده‌ها و شرایط واقعی ارزیابی شود. مدل آبخوان دشت

از نوع بارانی سنتی، بارانی قرقره‌ای و قطره‌ای هستند. تقریباً همه این اراضی از طریق منابع زیرزمینی آب خود را تأمین می‌کنند. با توجه به کشت‌های انجام شده، و بر اساس اطلاعات دریافت شده از سازمان جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای استان همدان (بده تخلیه، سطح زیر کشت تحت پوشش چاه و نوع کشت)، بازده آبیاری برای هر نوع سامانه، محاسبه شد؛ به طوری که برای آبیاری قطره‌ای از ۱۱ نمونه، برای آبیاری بارانی قرقره‌ای از ۲۱ نمونه و برای آبیاری بارانی سنتی ثلث و نیمه متحرک از ۱۳ نمونه استفاده شد، که نتایج در جدول ۱ آورده شده‌اند. به منظور محاسبه بازده کل، از رابطه ۶ استفاده شد.

(۶)

کل بازده

$$= \frac{\text{(سال در مکعب متر) آبی خالص نیاز}}{\text{(سال در مکعب متر) چاه از داشتنی بر آب میزان}}$$

برای به دست آوردن بازده کل آبیاری سطحی در دشت توپسرکان نیز مانند آبیاری تحت فشار با استفاده از اطلاعات کسب شده از شرکت آب منطقه‌ای استان همدان (تخلیه سالانه از چاه، سطح زیر کشت تحت پوشش چاه و کشت غالب) و به کار بردن رابطه **Error! Reference source not found.** و اخذ نیاز خالص آبیاری کشت‌ها از برنامه نتوات، بازده کل محاسبه شد. به طوری که برای محاسبه بازده کل آبیاری نشتی از ۷ نمونه و برای محاسبه بازده کل آبیاری غرقابی از ۵۱ نمونه استفاده شد. نتایج محاسبات را در جدول ۲ مشاهده می‌نمائید.

نتایج و بحث

واسنجی هدایت آبی و آبدهی ویژه

اولین مرحله از انجام عملیات واسنجی مربوط به هدایت آبی است. دقت در تعیین این فراسنج تأثیر زیادی در دقت سایر عوامل دارد. برای واسنجی این عامل از

که در این معادله، X_{i+1} مقدار بارش در سال مد نظر برای پیش‌بینی، \bar{X} میانگین داده‌های واقعی موجود، r_i همبستگی مرتبه‌ی اول، X_i مقدار بارش در سال قبل از X_{i+1} ، S انحراف معیار داده‌های واقعی موجود و t_i عدد تصادفی بهنجار هستند.

سپس برای تمام سال‌ها، مقادیر ماهانه را بر مقدار بارش سالانه همان سال تقسیم می‌کنیم تا ضرایب مخصوص در هر ماه برای سال خاص خود حاصل گردد. در گام بعد، داده‌های واقعی بارش سالانه را از کمترین تا بیشترین مقدار خود مرتب می‌نماییم. سپس بین هر دو سال متوالی، میانگین‌گیری انجام می‌شود تا بازه‌ای از مقادیر میانگین به دست آید. در ادامه‌ی داده‌های سالانه پیش‌بینی شده را بررسی می‌کنیم؛ بدین صورت که داده‌های پیش‌بینی شده در هر بازه‌ای از مقادیر میانگین که قرار گرفته باشند، از ضریب ماهانه همان سالی برای پیش‌بینی بارش استفاده می‌شود که در میان آن بازه قرار گرفته است. از همین رو، مقادیر ماهانه‌ی بارش برای دشت توپسرکان در ۴ ایستگاه مد نظر تا سال ۱۳۹۸ پیش‌بینی شد.

در تعریف نمایشنامه‌ی دوم به موضوع افزایش بازده آبیاری در دشت توپسرکان توجه شد. لذا نیاز است تا بازده آبیاری در دشت مشخص گردد. از این رو علاوه بر آگاهی از نوع و تعداد سامانه‌ها و روش‌های آبیاری در دشت توپسرکان، نیاز است تا از نوع محصولات کشت شده در منطقه و نیاز آبی آن‌ها اطلاع یابیم. به منظور تعیین آب لازم، برای گیاهان کشت شده در منطقه، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار نتوات نیاز خالص آبیاری را برای هر یک از گیاهان در منطقه به دست آوردیم. با توجه به قابلیت این نرم افزار، با انتخاب دشت توپسرکان، نیاز خالص گیاهان مورد نیاز برآورد شد.

در دشت توپسرکان ۳۳۱۱/۴۷ هکتار از اراضی آبی موجود، با استفاده از سامانه‌های آبیاری تحت فشار آبیاری می‌شوند. سامانه‌های به کار گرفته شده در این مناطق غالباً

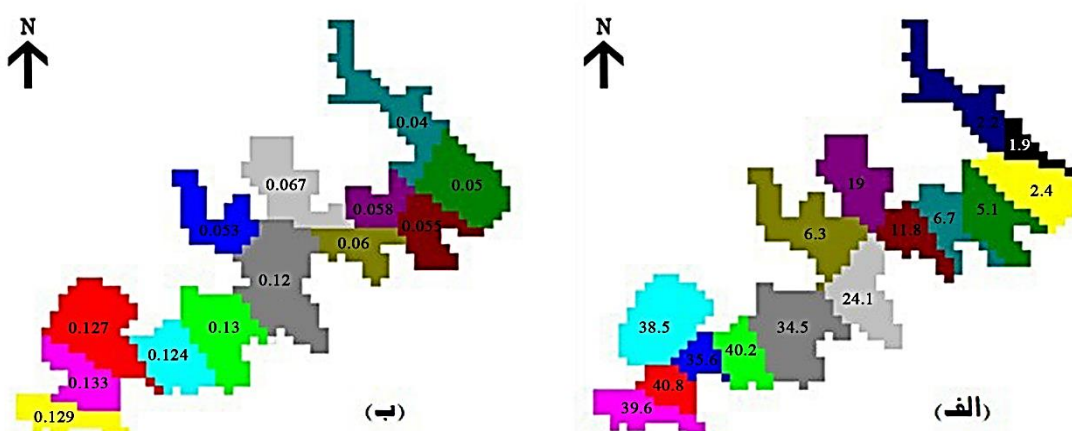
نوع آبیاری	تعداد نمونه	سطح زیر کشت (هکتار)	نوع کشت	بازده کل (درصد)
بارانی سنتی ثابت و نیمه متحرک	۱۳	۱۳۰/۳۶	یونجه، گندم، چغندر و سیبزمینی	۵۱/۴۷
بارانی قرقره‌ای	۲۱	۶۰۵/۵	غلات، یونجه و چغندر	۶۱/۰
موضعی (قطره‌ای و بابلر)	۱۱	۴۶/۶۳	سیب، هلو، گردو، انگور	۵۶/۳۶
متوسط بازده کل سامانه‌ها	-	-	-	۵۹/۱۳

جدول ۲- بازده کل روش‌های آبیاری سطحی در دشت تویسرکان

نوع آبیاری	تعداد نمونه	سطح زیر کشت (هکتار)	نوع کشت	بازده کل (درصد)
غرقابی	۵۱	۴۱۹/۹	یونجه، گندم، جو، ذرت، لوبیا، گردو، هلو و بادام	۴۱/۳۸
نشتی	۷	۱۵۰/۸	غلات، یونجه و چغندر	۳۴/۷۷
متوسط وزنی بازده کل روش‌ها	-	-	-	۳۹/۶۳

خروجی دشت دارای بالاترین مقادیر آبدهی هستند. بالاترین حد آبدهی ویژه در این مطالعه و در مطالعه آب منطقه‌ای (دفتر مطالعات پایه منابع آب، ۲۰۰۹) در بخش‌های میانی و انتهایی آبخوان برآورد شده است. بر اساس سه آزمون آبکشی صورت گرفته در منطقه، آنچه برای میانگین میزان آبدهی ویژه در کل آبخوان پیشنهاد شد، مقدار ۰/۰۶ بود. (دفتر مطالعات پایه منابع آب، ۲۰۰۹)؛ اما بر اساس نتایج حاصله از واسنجی مدل، میانگین آبدهی ویژه (۰/۰۹) بالاتر از مقدار پیشنهادی پس از انجام آزمایش آبکشی است.

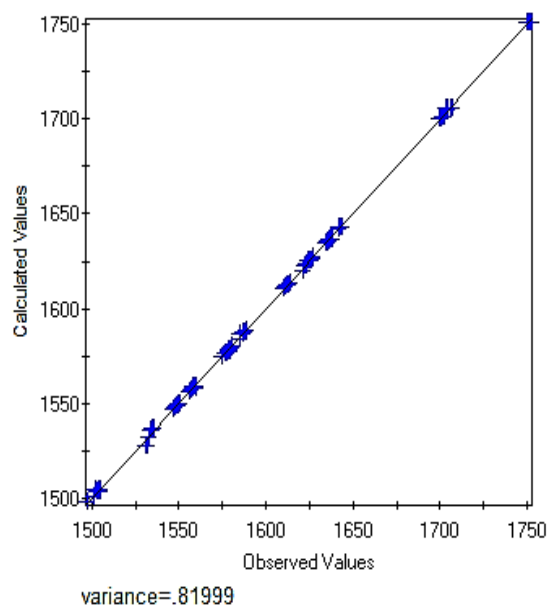
سطح ایستابی دی‌ماه به عنوان حالت ماندگار استفاده شد نقشه‌ی به دست آمده از مرحله‌ی واسنجی مدل در شکل ۴-الف آمده است. بیشترین میزان هدایت آبی در نواحی میانی به سمت خروجی دشت است و در حاشیه‌ی شرقی دشت و در نزدیکی ارتفاعات کمترین مقدار خود را داراست. بر اساس شکل ۴-الف، به جز در برخی از بخش‌ها، به نظر می‌رسد که هدایت آبی به سمت خروجی دشت به صورت پیوسته در حال افزایش است. دومین فراسنج واسنجی شده، آبدهی ویژه در شرایط غیرماندگار است. نقشه‌ی به دست آمده از مقادیر آبدهی ویژه در شکل ۴-ب آمده است. مشابه هدایت آبی، نقاط



شکل ۴- هدایت آبی (متر بر روز) (الف) و آبدهی ویژه (ب) پس از واسنجی

واسنجی آبدهی ویژه

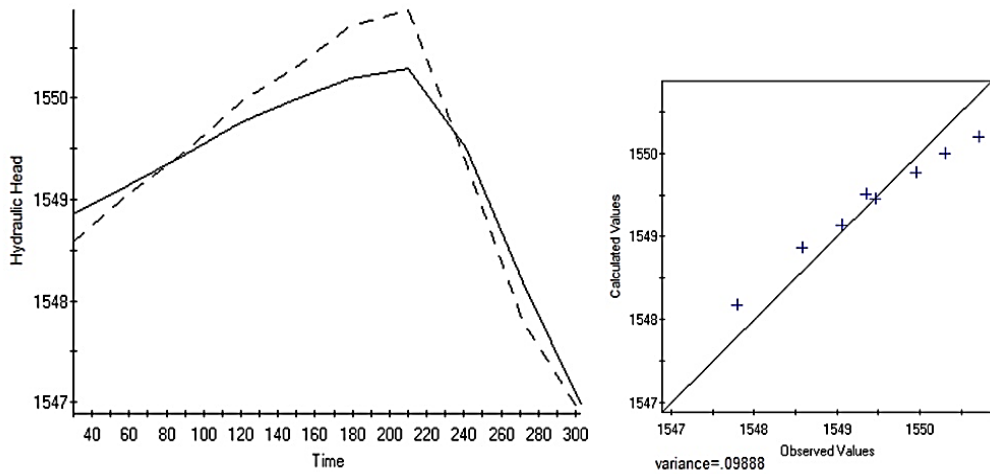
مقادیر تغذیه در تک تک دوره‌های تنش به صورت دستی اعمال و واسنجی شد. در این مرحله تخلیه‌ی چاه‌ها بر اساس آمار تخلیه به مدل وارد شد (ضرایب برگشتی نیز طبق ضرایب مذکور، اعمال شد) و مقادیر تغذیه نیز با استفاده از بسته‌ی Recharge وارد مدل شد و به وسیله‌ی شناسه PEST تخمین زده شد. زمان شروع شبیه‌سازی مهر ۱۳۸۷ و واسنجی تا تیرماه ۱۳۸۷ انجام شد. واریانس خطای به دست آمده در پایان واسنجی در تمام نقاط مشاهده‌ای در کل ۱۰ ماه (شکل Error! Reference source not found. ۵) برابر ۰/۸۲ است. چیت‌سازان و کشکولی (۲۰۰۲) تفاوت بین بارهای آبی اندازه‌گیری شده و مشاهده شده را تا چند فوت بیان نمودند.



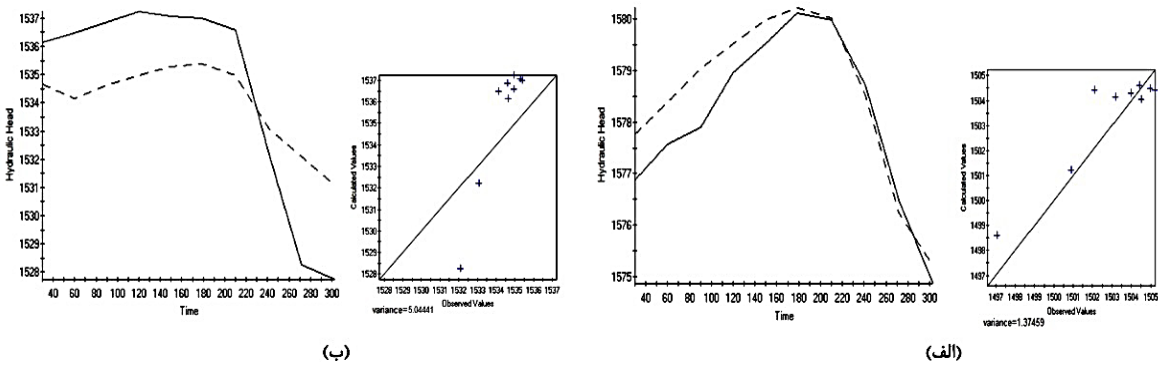
شکل ۵- مقایسه‌ی مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی در کل دوره‌های تنش

لازم به ذکر است که تمامی شکل‌های ۵ تا ۹ خروجی خود مدل بودند. همچنین در شکل‌های مربوط به مقایسه بارهای مشاهده شده و محاسبه شده و میزان واریانس خطا در شکل‌های ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹، محور افقی بار مشاهده شده و محور عمودی بار محاسبه شده (خروجی

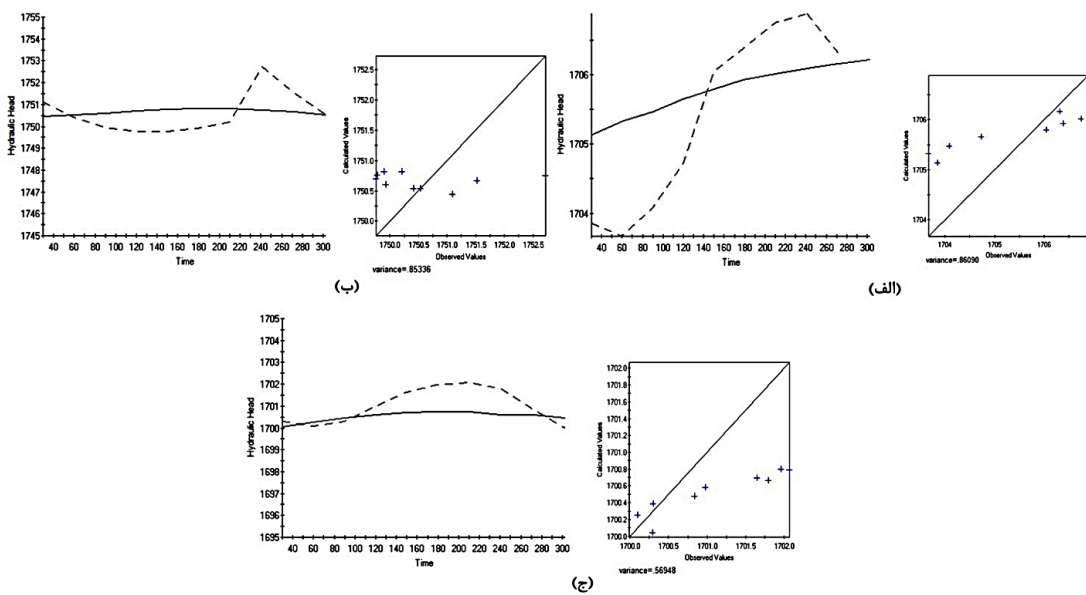
مدل) بر حسب متر هستند. در نمودارهای بار آبی در مقابل زمان نیز در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نیز بار آبی همان تراز سطح آب بر حسب متر و زمان بر حسب روز است. طبق نتایج حاصله کمترین واریانس خطا مربوط به فشارسنج ۱۰ واقع در قسمت جنوب شرقی دشت است که واریانس مربوط به مقادیر مشاهداتی و محاسباتی، ۰/۰۹۸۸ است (شکل ۶). بیشترین واریانس خطا نیز مربوط به دو فشارسنج ۵ (شکل ۷-الف) و ۸ (شکل ۷-ب) است که در خروجی دشت واقع شده‌اند، که مقادیر واریانس برای آن دو فشارسنج به ترتیب برابر با ۱/۳۷ و ۵/۰۴ است. هر چند به نظر می‌رسد که پس از فروردین ۱۳۸۸ مقادیر محاسباتی و مشاهداتی به هم بسیار نزدیک می‌شوند. فشارسنج‌های قسمت میانی دشت نیز دارای واریانس کمتری در مقایسه با بخش‌های دیگر دشت هستند. همچنین، در فشارسنج‌های ۶ (شکل ۸-الف)، ۹ (شکل ۸-ب) و ۱۳ (شکل ۸-ج) که در بخش‌های پرشیب شمال شرقی دشت واقع شده‌اند، آب‌نگارهای حاصله نتوانسته‌اند نوسان‌های سطح ایستابی را به خوبی بخش‌های میانی دشت شبیه‌سازی نمایند. بنابراین به نظر می‌رسد که در خروجی دشت تویسرکان، که محل خروج آب زیرزمینی نیز است و نیز در بخش‌های شمال شرقی دشت، مدل نتوانسته به خوبی سطح آب زیرزمینی را شبیه‌سازی نماید (در حالت اول درباره‌ی میزان واریانس خطا و در حالت دوم درباره‌ی شبیه‌سازی نوسانات آب زیرزمینی). نتایج حاصل از واسنجی مدل MODFLOW در دشت ملایر نشان دادند که مدل توانایی شبیه‌سازی آبخوان را ندارد (بهشتی، ۲۰۰۶). هرچند در مطالعه‌ی رضاپورطبری و همکاران (۲۰۱۱) نتایج از تولنایی مدل MODFLOW در شبیه‌سازی آبخوان و پیش بینی رفتار تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در مقایسه با مدل‌های شبکه عصبی ایستاتی بود.



شکل ۶- مقایسه‌ی مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی در فشارسنج ۱۰



شکل ۷- مقایسه‌ی مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی در فشارسنج‌های ۵ (الف) و ۸ (ب)

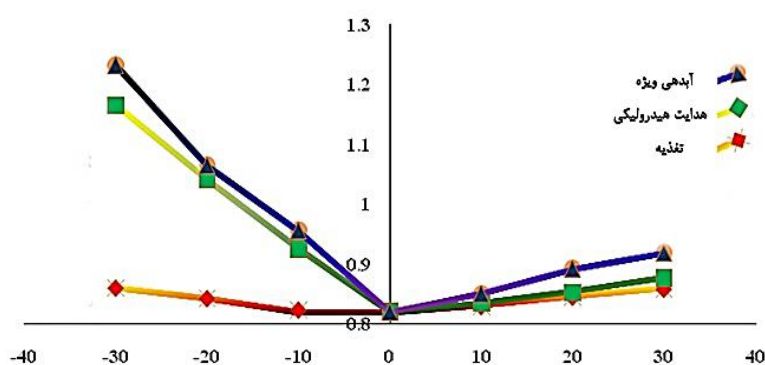


شکل ۸- مقایسه‌ی مقادیر مشاهده‌ای در فشارسنج‌های ۶، ۹ و ۱۳

تحلیل حساسیت

مدل آبخوان دشت توپسرکان، حساسیت بیشتری را به کاهش هدایت آبی نسبت به افزایش آن نشان می‌دهد. تحلیل حساسیت آبدهی ویژه نیز با قرار دادن مقدار واقعی هدایت آبی و اعمال تغییرات ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی در آبدهی ویژه انجام شد. پس از اجرای مدل، نمودار تحلیل حساسیت، وضعیتی مشابه را با هدایت آبی نشان می‌دهد. با این تفاوت که مدل نسبت به آبدهی ویژه حساسیت بیشتری را نسبت به هدایت آبی دارد. سومین حالت در تحلیل حساسیت نیز با ثابت نگه داشتن مقادیر آبدهی ویژه و هدایت آبی درباره‌ی عامل تغذیه انجام پذیرفت. بر خلاف ضرایب آب‌پویائی، مدل نسبت به تغذیه هم به هنگام کاهش و هم به هنگام افزایش آن، عکس‌العمل نسبتاً یکسانی را نشان می‌دهد؛ واکنشی که در مقایسه با

ضرایب آب‌پویائی نیز دارای حساسیت کمتری است. شکل ۹ نیز نشان‌دهنده‌ی مقایسه هر سه عامل در تحلیل حساسیت است. در کل می‌توان گفت که مدل در ابتدا نسبت به آبدهی ویژه، و ثانیاً نسبت به هدایت آبی، و در پایان نسبت به تغذیه حساس‌تر است. در حالی که در پژوهش کریمی‌پور و رخشنده‌پور (۲۰۱۱) حساسیت مدل در دشت شیراز به ترتیب نسبت به فراسنج‌های تغذیه، هدایت آبی و آبدهی ویژه کاستی می‌پذیرفت. همچنین حساسیت مدل PMWIN در دشت قزوین به ترتیب نسبت به هدایت آبی، تغذیه و آبدهی ویژه کاهش می‌یافت (افلاطونی و همکاران، ۲۰۱۴). در مطالعه‌ی پورحقی و همکاران (۲۰۱۴) نیز آبدهی ویژه و هدایت آبی حساس‌ترین فراسنج‌های شناخته شدند که با نتایج تحلیل حساسیت این مطالعه سازگارند.



شکل ۹- مقایسه‌ی تحلیل حساسیت برای سه عامل هدایت آبی، آبدهی ویژه و تغذیه

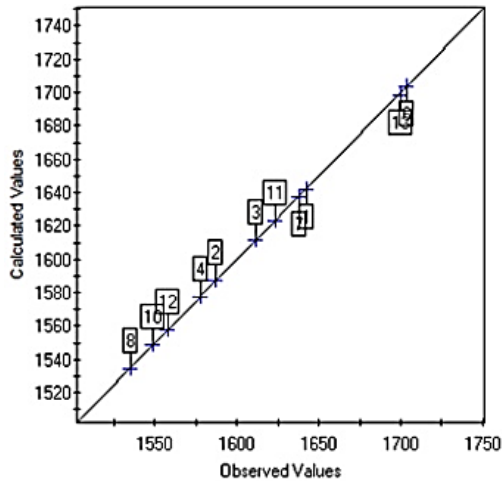
پیش‌بینی سطح ایستابی در طول ۱۰ سال آینده

پس از انجام مرحله‌ی صحت‌سنجی، مدل جهت پیش‌بینی شرایط آینده آبخوان تحت نمایشنامه‌های مختلف آماده است. در تعریف نمایشنامه باید شرایط احتمالی را به صورت لایه‌های اطلاعاتی وارد مدل کرد. در این مطالعه، دو نمایشنامه‌ی ده ساله (تا سال آبی ۹۷-۱۳۹۸) مد نظر قرار گرفتند. نمایشنامه‌ی نخست بر مبنای ادامه‌ی روند برداشت کنونی از آبخوان طراحی شد. در این نمایشنامه همچنین تغذیه با استفاده از بارش‌های

صحت‌سنجی

تأیید مدل تهیه شده با پیش‌بینی بار آبی مرداد و شهریور و مقایسه‌ی آن با بار آبی مشاهداتی انجام گرفت. مدل آبخوان دشت توپسرکان با اضافه شدن دو دوره‌ی تنش ۳۱ روزه و اعمال شرایط و تنش‌های دو ماه آخر سال مطالعه، اجرا و بار آبی محاسبه شده با مقدار واقعی مقایسه شد. پیش‌بینی سطح ایستابی در مرداد ۱۳۸۸ با واریانس ۰/۳۲ (شکل ۱۰-الف) و در شهریور همان سال با واریانس ۰/۶۴ (شکل ۱۰-ب) انجام شد.

نمایشنامه‌ی اول وارد مدل شد. آب‌نگارهای استخراج شده از نمایشنامه‌ی اول برای هر فشارسنج به صورت جداگانه **Error! Reference source not found.** در شکل ۱۱ و برای نمایشنامه‌ی دوم نیز در هر فشارسنج در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



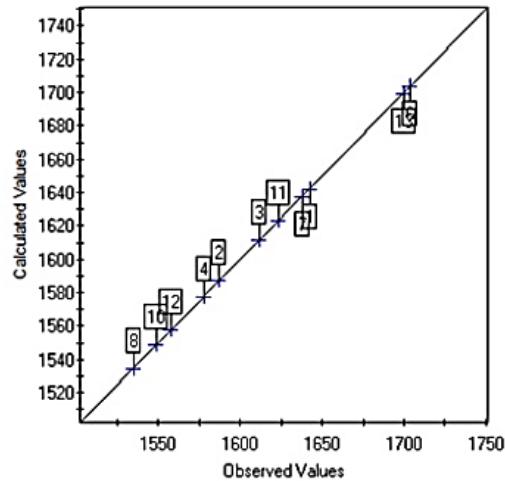
variance=0.647585

(ب)

شکل ۱۰- صحت سنجی مدل برای دو ماه مرداد (الف) و شهریور (ب)

اعمال نمایشنامه‌ی دوم سبب افزایش سطح ایستابی به میزان $1/661$ متر شده و به $16/727$ متر رسیده است. قابل ذکر است که در مورد نحوه‌ی تغییرات در آب‌نگارها، به مقایسه‌ی بین مقادیر بارش پیش‌بینی شده و میزان برداشت‌ها در هر دو نمایشنامه در محدوده‌ی هر فشارسنج شد. آنچه از این مقایسه‌ی مشخص شد آن است که روند در تمامی آب‌نگارها مطابق با پیش‌بینی‌های انجام شده است، هرچند در برخی از فشارسنج‌ها نظیر فشارسنج ۶، به نظر می‌رسد استفاده از نوع راه حل خطی، سبب اندکی اختلاف در سطح ایستابی پیش‌بینی شده است، زیرا این فشارسنج در محلی قرار گرفته که تغییرات در میزان ارتفاع در یک فاصله مکانی کوتاه بسیار زیاد بوده، و به عبارت دیگر دارای شیب زیادی است. هر چند در مطالعه‌ی محمدی و همکاران (۲۰۱۵)، که با مدل PMWIN صورت گرفته، به این نتیجه رسیدند که در بخش مرکزی دشت شیروان با افزایش سطح آب زیرزمینی، و در سایر بخش‌ها با کاهش آن روبرو هستیم. در شکل ۱۳ پس از میانگین‌گیری سطح آب به صورت

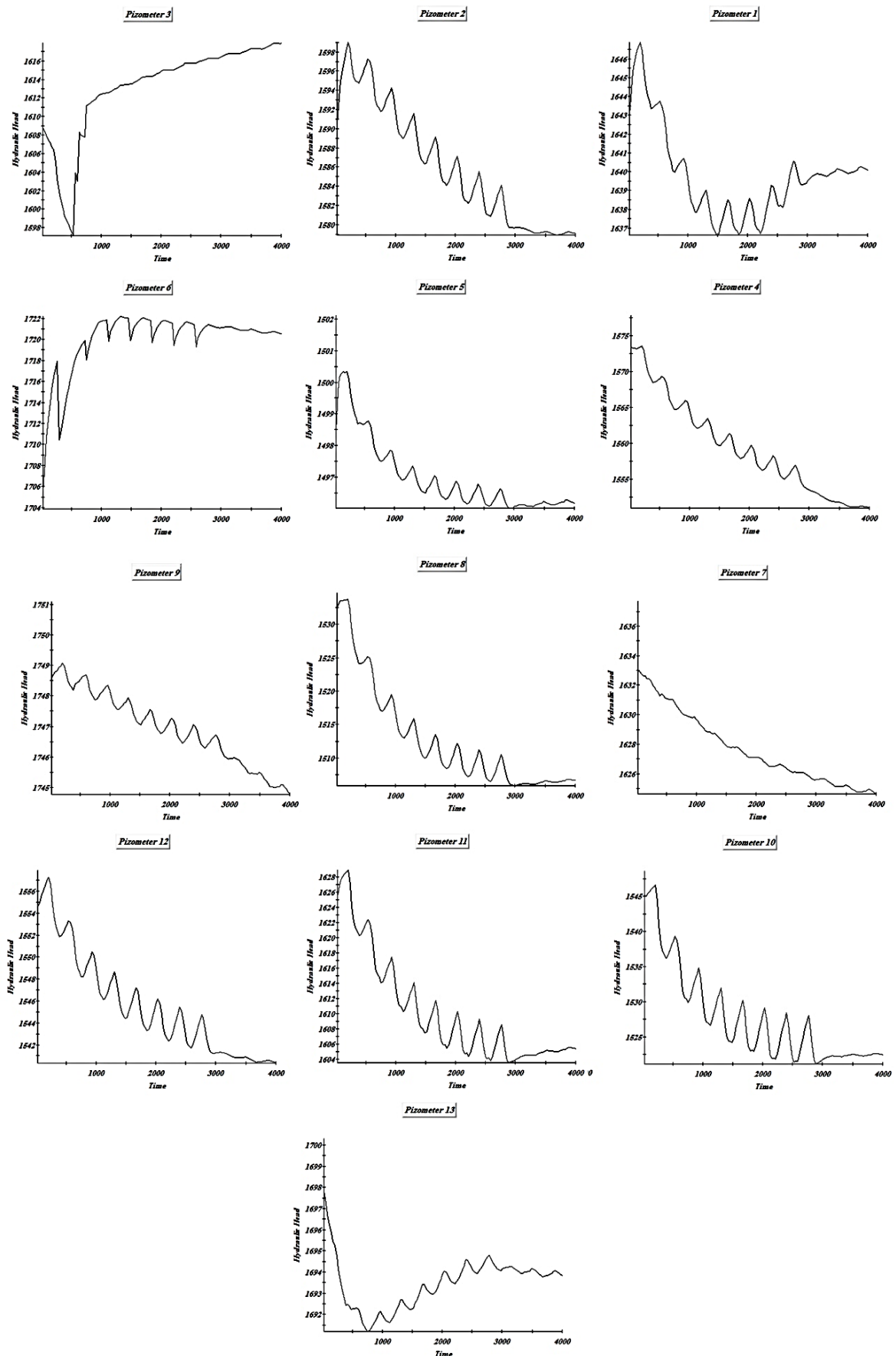
پیش‌بینی شده به وسیله‌ی روش فراگمنت، برآورد و وارد مدل شد. در نمایشنامه‌ی دوم، به بازده آبیاری در منطقه، توجه شد، بدین صورت که جایگزینی سامانه‌های آبیاری سنتی با سامانه‌های تحت فشار، و افزایش بازده به میزان ۲۰ درصد اعمال شد. تغذیه نیز بر همان مبنای



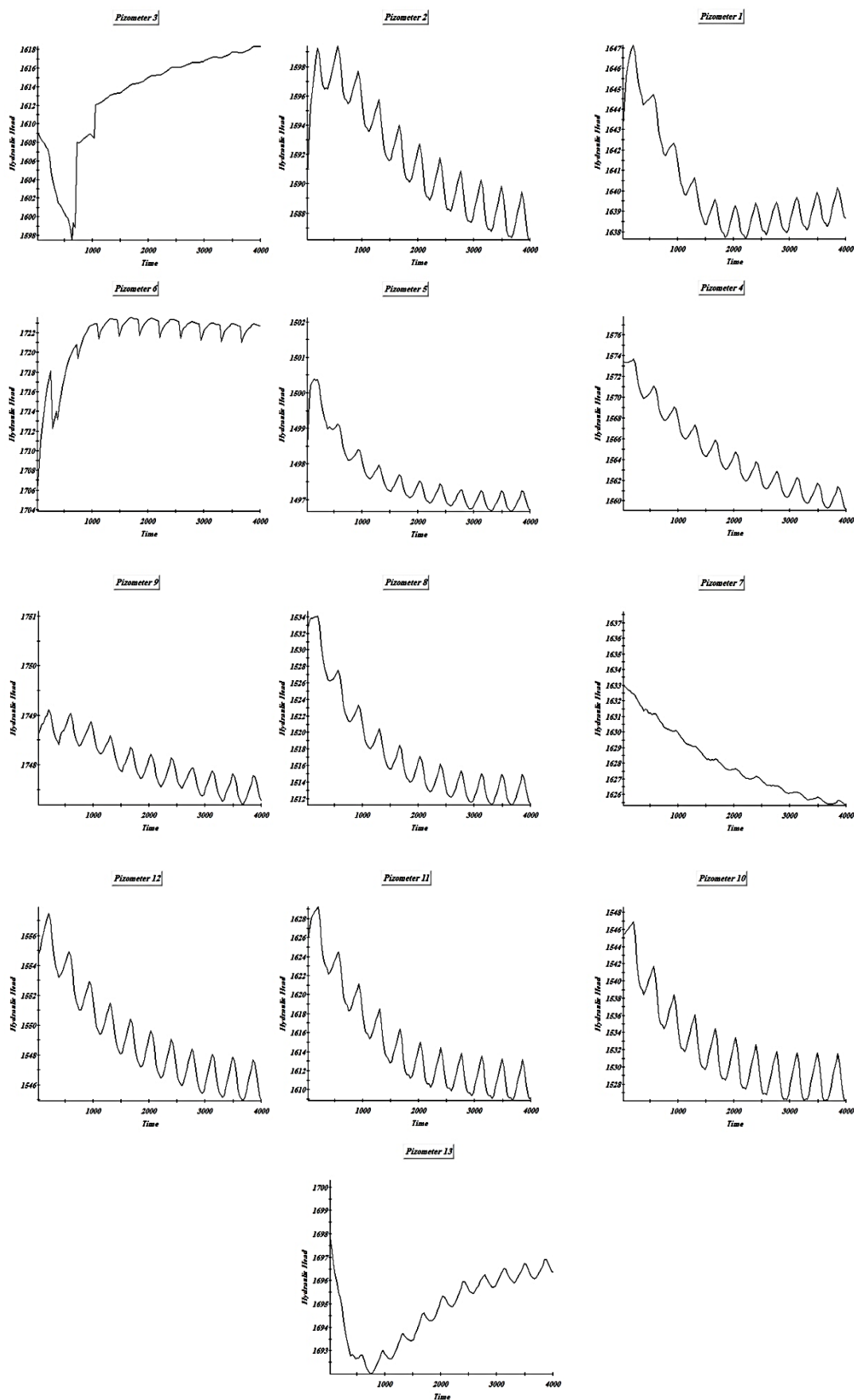
variance=0.322323

(الف)

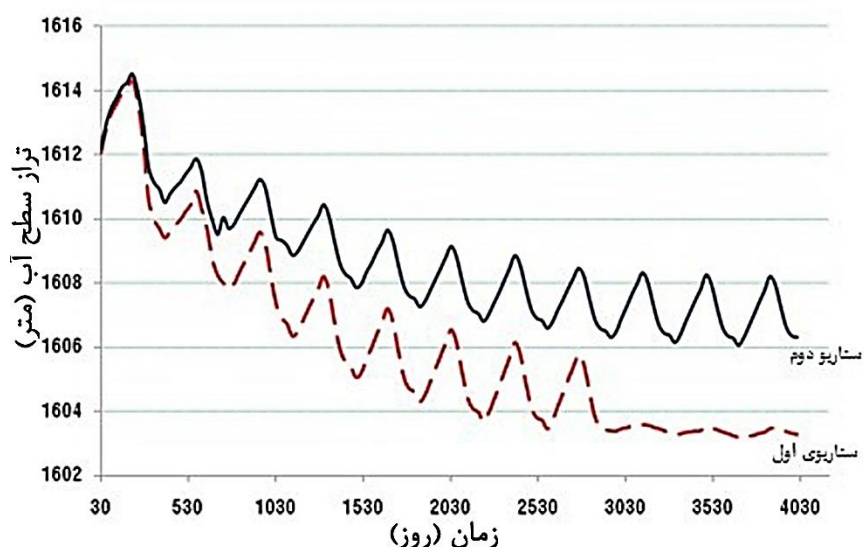
بر اساس آب‌نگارهای پیش‌بینی شده در هر دو نمایشنامه، به جز دو فشارسنج ۳ و ۶، در سایر فشارسنج‌ها سطح ایستابی در پایان دوره‌ی شبیه‌سازی نسبت به سطح ابتدایی افت پیدا کرده است. در نمایشنامه‌ی اول بیشترین میزان افت با میزان $25/83$ متر مربوط به فشارسنج ۸، و کمترین افت نیز به میزان $2/285$ متر مربوط به فشارسنج ۵ است. میزان افزایش سطح ایستابی در فشارسنج ۳ برابر است با $9/022$ متر، و در فشارسنج ۶ معادل $15/066$ متر است. در نمایشنامه‌ی دوم نیز بیشترین افت مربوط به فشارسنج شماره ۸ است، هر چند افت به میزان $4/531$ کاهش یافته و سطح ایستابی به $21/3$ متر رسیده است، اما کمترین افت مربوط به فشارسنج ۹ با $1/352$ متر افت است. هر چند کمترین اختلاف مربوط به فشارسنج ۵ به میزان $0/516$ بوده است. در فشارسنج ۳ افزایش سطح ایستابی در پایان دوره‌ی شبیه‌سازی نسبت به آغاز آن، $9/264$ متر افزایش را نشان می‌دهد که در مقایسه یا نمایشنامه‌ی اول تنها $0/242$ متر افزایش داشته است. اما درباره‌ی فشارسنج ۶،



شکل ۱۱- آبنگارهای خروجی مدل پس از طراحی نمایشنامه‌ی اول



شکل ۱۲- آب‌نگارهای خروجی مدل پس از طراحی نمایشنامه‌ی دوم

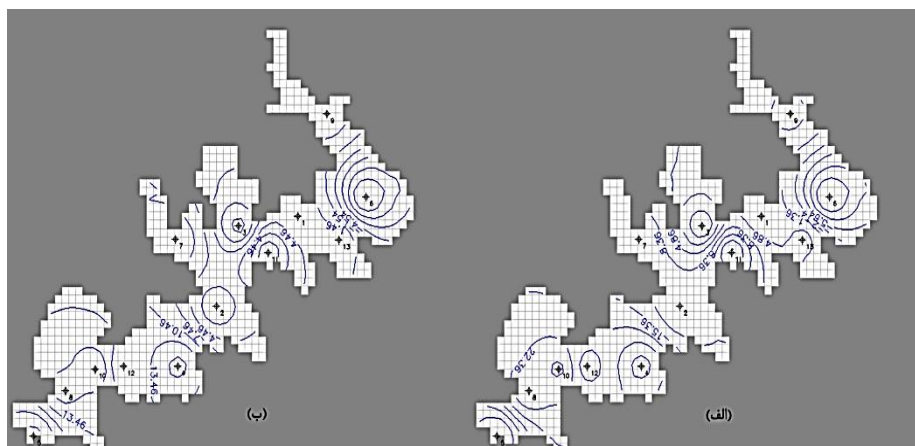


شکل ۱۳- مقایسه‌ی میانگین سالانه‌ی سطح ایستابی آبخوان تویسرکان برای دو نمایشنامه‌ی تعریف شده

آبخوان در آینده خواهد داشت. نیکبخت و نجیب (۲۰۱۵) نیز در مطالعه‌ی در دشت عجب‌شیر به این نتیجه دست یافتند که با جایگزین شدن سامانه‌های آبیاری سنتی با تحت فشار، سطح آب زیرزمینی در طول دوره‌ی شبیه‌سازی با افزایش روبرو خواهد شد.

نقشه‌های هم افت آب زیرزمینی طی ۱۰ سال (اردیبهشت ۸۸ تا اردیبهشت ۹۸) به ترتیب برای نمایشنامه‌ی اول (شکل ۱۴-الف) و نمایشنامه‌ی دوم (شکل ۱۴-ب) آورده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افت تراز سطح آب در اردیبهشت ۹۸ نسبت به اردیبهشت ۸۸ با اعمال نمایشنامه‌ی اول بیشتر خواهد شد.

سالانه در سطح آبخوان، اقدام به مقایسه‌ی دو نمایشنامه به صورت سالانه شد. همان‌طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، هرچند میانگین سطح آب در هر دو نمایشنامه دارای روند کاهشی است، اما سطح آب در نمایشنامه‌ی اول در پایان دوره‌ی ده ساله شبیه‌سازی در حدود سه متر پایین‌تر از نمایشنامه‌ی دوم قرار دارد. همچنین افزایش ۲۰ درصدی بازده آبیاری سبب منظم‌تر شدن نوسانات سطح ایستابی در آبنگار حاصله شده است. مهدوی و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعه‌ای که در دشت همدان-بهار انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که تغییر شیوه آبیاری به دلیل صرفه جویی در مصرف آب، بیشترین تأثیر را بر کاهش میزان افت سطح تراز



شکل ۱۴- نقشه‌ی هم افت آب زیرزمینی در آبخوان دشت تویسرکان برای دوره‌ی ده ساله در نمایشنامه‌ی ۱ (الف) و ۲

(ب)

نتیجه گیری

پیشی بینی وضعیت آینده آبخوان استفاده گردد. همچنین، پیشنهاد می شود که با تعیین ضریب اطمینان بر اساس خروجی مدل های مختلف آب زیرزمینی و پایش مداوم سطح ایستابی، و نیز وضع قوانین سخت گیرانه، روند فعلی برداشت ها مهار گشته و با انجام طرح های تغذیه ی مصنوعی در مکان های مستعد این امر، به افزایش سطح ایستابی کمک گردد.

منابع

- 1) Aflatouni, M., Eskandari, L., and Dehghanisanij, H. 2014. Calibration and Sensitivity Analysis of Hydraulic Behavior in Qazvin Plain Aquifer. Journal of Soil and Water Research 45 (3): 283-291 (in Persian).
- 2) Alizadeh, A., 2007. Principles of applied hydrology. Emam Reza university, Mashhad, p. 808 (in Persian).
- 3) Al-Salamah, L.S., Ghazaw, Y.M. and Ghumman, A.R. 2011. Groundwater modeling of Saq Aquifer Buraydah Al Qassim for better water management strategies. Environmental Monitoring and Assessment 173 (1-4): 851-860.
- 4) Beheshti, A.S., 2006. Malayer Plain Hydrographic Study and its Mathematical Modeling Using the MODFLOW code for Optimum Management of Groundwater Resources, MS.C Thesis in hydrogeology. Faculty of Natural Sciences, Tabriz University (in Persian).
- 5) Chitsazan, M., and Kashkooli, H.A. 2002. Quantitative solutions in hydrogeology and ground water modeling, Shahid Chamran university, Ahvaz, p. 680 (in Persian).
- 6) Haan, C. T. 2002. Statistical Methods in Hydrology. Iowa State Press, P. 496.
- 7) Jusseret, S., Tam, V. T., and Dassargues, A. 2009. Groundwater flow modelling in the central zone of Hanoi, Vietnam. Hydrogeology Journal 17: 915-934.
- 8) Karimipour, A.R., Rakhshandehroo, G.R., 2011. Sensitivity Analysis for Hydraulic Behavior of Shiraz Plain Aquifer Using PMWIN. Journal of Water and Wastewater 22 (2): 102-111 (in Persian)..

این بررسی از نخستین مطالعاتی است که درباره ی شبیه سازی آبخوان دشت تویسرکان با مدل PMWIN صورت گرفته است. نتایج حاصل از واسنجی مدل در دو حالت ماندگار و غیرماندگار، نشان دهنده ی این است که بخش های میانی دشت دارای بالاترین مقادیر هدایت آبی و آبدهی ویژه هستند و از این رو با آمار سازمان آب منطقه ای مبنی بر وجود چاه های با آبدهی بالا در این مناطق هماهنگی دارند (دفتر مطالعات پایه منابع آب، ۲۰۰۹). نتایج واسنجی تغذیه نیز نشان دادند که مدل در نقاط پرشیب دشت نتوانسته نوسان های سطح آب را به خوبی نشان دهد، و نیز در نقاط خروجی آب زیرزمینی واریانس خطای مدل بالاست. به نظر می رسد که شیوه ی حل خطی قادر به شبیه سازی این بخش آبخوان نبوده است. با بررسی نمایشنامه ی تغییر سامانه های آبیاری منطقه، و افزایش ده درصدی بازده مشخص شد که این نمایشنامه نیز تنها مسکنی بر کاهش سطح آب زیرزمینی در منطقه خواهد بود، و باید در کنار آن نیاز است تا نمایش نامه های دیگری نظیر تغییر الگوی کشت و آمایش سرزمین نیز بررسی شود. همچنین، نتایج نشان دادند که با افت سطح آب زیرزمینی در تمامی بخش های دشت به جز بخش های شرقی دشت روبرو خواهیم بود که با نتیجه ی تحقیق شکوهی و همکاران (۲۰۱۴) که با استفاده از مدل GMS در همین دشت صورت گرفته در انطباق است. کاهش افت سطح آب زیرزمینی در مناطق جنوبی دشت، به دلیل تمرکز بالای چاه های بهره برداری، بیشتر از سایر نقاط آن است. نتایج نشان دادند که در نمایشنامه ی اول بیشترین میزان افت با میزان ۲۵/۸۳ متر مربوط به فشارسنج ۸، و کمترین افت نیز به میزان ۲/۲۸۵ متر مربوط به فشارسنج ۵ است. در نمایشنامه ی دوم نیز بیشترین افت مربوط به فشارسنج شماره ی ۸ است، هر چند افت به میزان ۴/۵۳۱ کاهش یافته و سطح ایستابی به ۲۱/۳ متر رسیده است. بسیار به جا است تا از مدل های دیگری نظیر مدل های تغییر اقلیم نیز برای

- and Irrigation Management, 5 (1): 115-127 (in Persian).
- 18) Office of Basic Water Resources Studies, 2009. Report on justification for extending the ban on exploitation of groundwater resources of Tuyserkhan Plain in the year 2008-2009. Ministry of Energy, Water Resources Management Company of Iran, Hamedan Regional Water Company (in Persian).
- 19) Porhaghi A., Akhondali, A., Radmanesh, F., and Mirzaee, S.Y. 2014. Manage the Groundwater Sources Exploration of the
- 20) Nourabad Plain in the Drought Conditions with MODFLOW Modeling. Journal of Irrigation Sciences and Engineering 37 (2): 71-82 (in Persian).
- 21) Rejani, R., Jha, M.K., Panda, S.N., and Mull, R. 2008. Simulation modeling for efficient groundwater management in Balasore Coastal Basin, India. Water Resources Management 22 (1): 23-50.
- 22) Rezapour Tabari, M.M., Ebadi, T., and Maknoon, R. 2011. Development of a Smart Model for Groundwater Level Prediction Based on Aquifer Dynamic Conditions. Journal of Water and Wastewater 21 (4): 70-80 (in Persian).
- 23) Shishir, G., Chaharb, B.R., and Didier, G. 2011. Combined use of groundwater modeling and potential zone analysis for management of groundwater. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 13: 127-139.
- 24) Shokoohi, F., Abdekolahchi, A., Majidi, A., Yaghoobi, B., Bakhshipoor, J., 2014. Modeling of Groundwater Flow in Tuyserkhan plain using GMS Mathematical Model, First National Conference on Architecture. Civil and Urban Environment (in Persian).
- 25) Taheri Tizro, A., Voudouris, K.S., and Akbari, K. 2011. Simulation of a groundwater artificial recharge in a semi-arid region of Iran. Irrigation and Drainage ASCE 60: 393-403.
- 26) Zhou, Y., and Li, W. 2011. A review of regional groundwater flow modeling. Geoscience Frontiers 2(2): 205-214.
- 9) Larroque, F., Treichel, W., and Dupuy, A. 2008. Use of unit response functions for management of regional multilayered aquifers; application to the North Aquitaine Tertiary system (France). Hydrogeology Journal 16: 215-233.
- 10) 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.
- 11) Liu, C.W., Lin, C.N., Jang, C.S., Chen, C.P., Chang, J.F., Fan, C.C., and Lou, K.H. 2006. Sustainable groundwater management in Kinmen Island. Hydrological Processes 20: 4363-4372.
- 12) Mahdavi, M., Farkhzad, B., Salajaghe, A., Malekian, A., Soori, M., 2013, Simulation of Hamedan- Bahar aquifer and investigation of management scenarios by using PMWIN, Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), 26 (1): 108-116 (in Persian).
- 13) McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W. 1988. A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model. US Geological Survey Open-file Report. p. 83-875.
- 14) Mirlas, V. 2012. Assessing soil salinity hazard in cultivated areas using MODFLOW model and GIS tools: A case study from the Jezre'el Valley. Agricultural Water Management 109: 144-154.
- 15) Mittelstet, A.R., Smolen, M.D., Fox G.A., and Adams, D.C. 2011. Comparison of aquifer sustainability under groundwater administrations in Oklahoma and Texas. Journal of the American Water Resources Association 47 (2): 424-431.
- 16) Mohammadi, A., karami. G., Dolati Ardejani, F., 2015. Aquifer management study using PMWIN model, case study: Shirvan aquifer, Water Resources and Development, 1 (3): 67-75 (in Persian).
- 17) Nikbakht, J., Najib, Z., 2015, Effect of irrigation efficiency increasing on groundwater level fluctuations (Cast study: Ajab-Shir Plain, East Azarbaijan), Water