

مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی با مدل MODFLOW (مطالعه موردی: دشت نورآباد)

امیر پورحقی^{۱*}، علی محمد آخوندعلی^۲، فریدون رادمنش^۳ و سید یحیی میرزایی^۴

* نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز pourhaghiamir@yahoo.com

۲- استاد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- دانشجوی دکتری هیدرولوژی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۲

چکیده

امروزه خشکسالی و افزایش نیاز آبی، منابع آب زیرزمینی را با چالش مواجه کرده است. از این رو نیاز به مدیریت بهینه منابع آب در این بخش اهمیت ویژه خود را نمایان می‌نماید. این تحقیق به منظور مدیریت بهره‌برداری از آبخوان دشت نورآباد در شرایط خشکسالی و با روش تفاضل محدود مدل‌سازی شده است. جهت تهیه مدل مفهومی دشت از لاگ زمین شناسی، چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی، مقاطع زمین شناسی و هیدروگراف چاه استفاده و مدل تولید گردید، سپس وضعیت آبخوان برای مهر ۱۳۹۱ تا مهر ۱۳۹۳ پیش بینی شد. هیدروگراف پیش بینی دشت، افت سطح آب زیرزمینی را به میزان (۱/۵۵-) متر برای دو سال آینده نشان می‌دهد. اجرای مدل در شرایط خشکسالی، نشان داد سطح آب زیرزمینی به طور متوسط (۲/۰۵-) متر افت می‌کند که با کاهش ۲۰ درصدی آبدی چاه‌های بهره‌برداری این مقدار افت به (۱/۳-) متر کاهش می‌یابد و بیلان آبخوان به طور متوسط ۳/۵ میلیون متر مکعب بهبود پیدا می‌کند.

کلید واژه‌ها: آبخوان، مدل MODFLOW، آب زیرزمینی، دشت نورآباد.

Manage the Groundwater Sources Exploration of the Nourabad Plain in the Drought Conditions with MODFLOW Modeling.

A. Pourhaghi¹, A. M. Akhondali², F. Radmanesh³ and S. Y. Mirzaee⁴

- 1- MSc Student, Department of water Resource Engineering, Shahid Chamran university of Ahvaz, Iran
- 2- Professor of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
- 3- Assistant Professor of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
- 4- PhD Student, Department of Water Resource Engineering, Shahid Chamran university of Ahvaz, Iran

Received: 31 Jan 2013

Accepted: 11 June 2013

Abstract

Today, the drought and increasing water demand faced groundwater sources to challenge. Hence the need of the optimized water sources management has indicated its specific importance. This study has been implemented in order to manage the aquifer exploitation of the Nourabad plain in the drought conditions and this has been done by the finite differentiation modeling. To provide the conceptual model of the plain the geological log, observation and exploration wells, geological aspects, and the well's hydrograph were used and after that, the model was provided. Then, the aquifer's condition for October 2012 to October 2014 was predicted. The plain prediction hydrograph indicates the decrease of the groundwater level (-1.55m) for two next years. The model implementation in drought conditions shows that in these conditions the groundwater level decreases with the average of (-2.05m) which with the 20 % decrease of the discharge of the exploitation wells in these conditions this amount decreases to (-1.3m) and the aquifer

balance improves with the average of 3.5 million cubic meters.

Key Words: Aquifer, MODFLOW Model, Groundwater, Nourabad plain.

مقدمه

جهت ایجاد لایه های ورودی مدل استفاده گردید و در نهایت مدل بیلان منفی دشت را در سال ۲۰۰۲-۲۰۰۳ را نشان داد. هولمن و همکاران^{۱۰} (۲۰۰۹) با مدل‌های استوکاستیکی تغذیه آب‌های زیرزمینی دشت کولتیشان^{۱۱} انگلستان را با هدف بهبود شیوه‌های مدیریت بر این منابع را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج حاصله آن‌ها توصیه نمودند که مدل‌های استوکاستیکی در سامانه آب زیرزمینی حساس از قابلیت بالاتری برخوردار است. هیل و مهل^{۱۲} (۲۰۱۰) روابط متقابل رودخانه و سفره آب زیرزمینی را با در نظر گرفتن ابعاد شبکه‌های مختلف، با استفاده از نرم افزار مادفلو شبیه سازی کردند. نتایج نشان داد معیارهای موجود برای انتخاب اندازه شبکه در مدل‌های یک بعدی و دو بعدی کارایی دارد اما در مدل‌های سه بعدی دارای محدودیت است. در ایران نیز با استفاده از روش‌های عددی برای شبیه سازی جریان آب زیرزمینی از سال ۱۹۶۲ با شبیه سازی دشت ورامین آغاز شد. فاتحی مرج (۱۳۸۱)، کتیه و حافظی (۱۳۸۳) با استفاده از مدل مادفلو به بررسی مدیریت بهره برداری از آب‌های زیرزمینی و ارزیابی طرح عملکرد تغذیه مصنوعی دشت آب باریک بزم پرداختند. شبیه سازی آبخوان مؤید آن است که روند افت سطح ایستابی، علی‌رغم طرح تغذیه مصنوعی کماکان ادامه دارد به طوری که در اسفند ماه ۱۳۸۳ میزان افت نسبت به اسفند ۱۳۵۲ در حدود ۱۸ متر خواهد بود. عطایی زاده و چیت سازان (۱۳۸۸) با استفاده از مدل مادفلو به بررسی اثر خشکسالی بر میزان ذخیره آبخوان دشت میداوود پرداختند و بعد از مدل سازی مشاهده شد ذخیره آبخوان از میزان ۶۱۲ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۸۴-۱۳۸۵ به میزان ۵۹۱/۶ میلیون متر مکعب در سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ تقلیل خواهد یافت. حیدری (۱۳۹۱) آبخوان دشت قلعه تل را با هدف مدیریت منابع آبی با نرم افزار پی ام وین^{۱۳} شبیه سازی و به این نتیجه رسید که برای جلوگیری از روند افت سطح ایستابی باید ۲۰ درصد از تخلیه چاه‌های بهره‌برداری کاسته شود. کریمی و همکاران (۱۳۹۱) با هدف بررسی آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت ماهیدشت در استان کرمانشاه با مدل مادفلو پی ام وین مطالعه‌ای صورت دادند. نتایج نشان داد که می‌توان از آب‌های سطحی به عنوان منبع تغذیه کننده آبخوان در فصول سرد سال استفاده کرد و آبخوان را تا حدودی احیا نمود.

هدف از این پژوهش بررسی و ارزیابی وضعیت آبخوان دشت نورآباد در شرایط خشکسالی و بررسی راهکار مدیریتی برای کاهش

خشکسالی به عنوان یکی از بلایای طبیعی تأثیر گذار در کشاورزی می باشد که در چند دهه اخیر در بسیاری از مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است. کمی بارش و نوسانات شدید آن سبب عدم اطمینان جهت دریافت حداقل بارش مورد نیاز مصارف مختلف کشاورزی شده است. بنابراین ارزیابی و شبیه سازی منابع آب در شرایط خشکسالی از اهمیت ویژه‌ای برای درک شرایط قبل از وقوع و همچنین ارائه راهکارهای مناسب جهت کاهش اثر آن برخوردار است. دشت نورآباد در سال‌های اخیر به علت افزایش جمعیت و بهره برداری از منابع آب زیرزمینی با کاهش شدید تراز آب زیرزمینی مواجه می‌باشد. این روند می‌تواند در کنار خشکسالی‌های طبیعی مشکلات آبخوان را در مباحث کمی و کیفی آب افزایش دهد. محققین متعددی در دنیا به شبیه سازی آبخوان‌ها پرداخته‌اند که برخی تحقیقات این محققان در ادامه مطلب آورده شده است. کینزل باخ^۱ (۱۹۸۶) و اندرسون و ووستر^۲ (۱۹۹۱) در خصوص شبیه سازی جریان و انتقال آلودگی آب‌های زیرزمینی مطالعه نموده اند. انریکو^۳ (۲۰۰۰) مقدار تغذیه آبخوان‌های مناطق خشک را با استفاده از مدل مادفلو^۴ شبیه سازی نمود. بر این اساس مقدار مناسب تغذیه در شرایط مختلف آب و هوایی تعیین شد. وی نشان داد ساده کردن سامانه انشعابی تغذیه آبخوان حاکم بر مدل اولین قدم در راه تلفیق هیدرولوژی آب‌های جاری با هیدرولوژی آبخوان در مناطق خشک است. پلیکاس و همکاران^۵ (۲۰۰۵) با هدف مدیریت و تقویت منابع آب زیرزمینی دشت کسانتی^۶ حوزه آبخیز ویستونیدا^۷ یونان مطالعه ای صورت دادند. از بین سناریوهای مختلف جهت دستیابی به اهداف فوق، تغذیه مصنوعی مد نظر قرار گرفت. در این راستا گزینه دوباره فعال شده بستر رودخانه قدیمی کوسیتوس^۸ از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۳ مورد توجه قرار گرفت. واسنجی و پیش بینی سطح ایستابی آبخوان از طریق مدل مادفلو انجام شد. نتایج حاصل از صحت سنجی مدل دلالت بر قابلیت بالای مدل در پیش بینی سطح ایستابی در طی ۷ سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۱ بوده و این در حالی است نتایج شبیه سازی سطح ایستابی طی دو سال ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ قابل قبول نمی باشد. وانگ و همکاران^۹ (۲۰۰۸) با مدل مادفلو دشتی در شمال چین را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از سامانه اطلاعات جغرافیایی

- 1- Kinzelbach
- 2- Anderson and Woessner
- 3- Enrique
- 4- MODFLOW
- 5- Pliakas and et al
- 6- Kesanti
- 7- Vistonida
- 8- Cosintos
- 9- Wang and et al

- 10- Holman and et al
- 11- Koltishan
- 12- Mehl and Hill
- 13- PMWIN

اثر خشکسالی بر آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

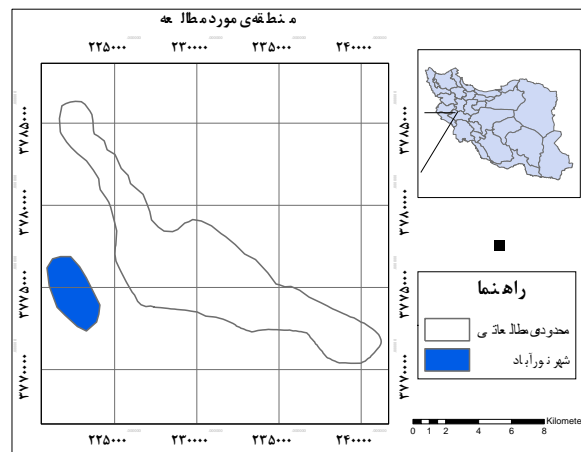
دشت نورآباد در شمال استان لرستان و در بین طولهای جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این دشت در ارتفاع ۱۷۰۰ متری از سطح دریا و در بین رشته کوه‌های زاگرس واقع شده و مساحت کل دشت در حدود ۳۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که ارتفاعات بلند منطقه از آهک‌های ضخیم لایه و مناطق کم یا متوسط ارتفاع دشت از سنگ‌های آذرین، دگرگونی و سری آهکی همراه با سنگ‌های دگرگونی تشکیل شده است. واحد مرفولوژیکی دشت شامل مخروط افکنه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی، واریزه‌ها و آبرفت‌های سیلابی و آبرفت‌های بین دشتی می‌باشد. رسوبات کنگلومرایی با پهنه‌ی وسیعی در انتهای جنوب شرقی دشت قابل رؤیت است و در شمال دشت آبرفت‌ها و واریزه‌های بادبزی به صورت نواری حاشیه دشت را می‌پوشاند و

قسمت اعظم دشت را رسوبات واریزه ای اشغال نموده است (بی نام، ۱۳۹۰). با احتساب حدود ۷۷/۱۸۳ کیلومتر مربع مساحت محدوده مورد مطالعه، حدود ۳۸۰ حلقه چاه بهره برداری در این منطقه وجود دارد که اکثراً برای تامین آب کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بررسی بارندگی منطقه نشان می‌دهد میانگین بارندگی سالانه در دشت ۴۸۰ میلی متر و آبخوان این منطقه دارای ۱۰ چاه پیزومتری می‌باشد که آمار آنها از سال ۱۳۸۱ تاکنون (شهریور ۱۳۹۱) به صورت ماهیانه در دسترس می‌باشد (جدول ۱).

ترسیم هیدروگراف تغییرات آب زیرزمینی منطقه از سال ۱۳۸۳ تا سال ۱۳۹۰ نشان می‌دهد که روند کلی تراز آب زیرزمینی منطقه نزولی می‌باشد که نشان دهنده کاهش منابع آب زیرزمینی منطقه می‌باشد (شکل ۲).

طراحی مدل دشت

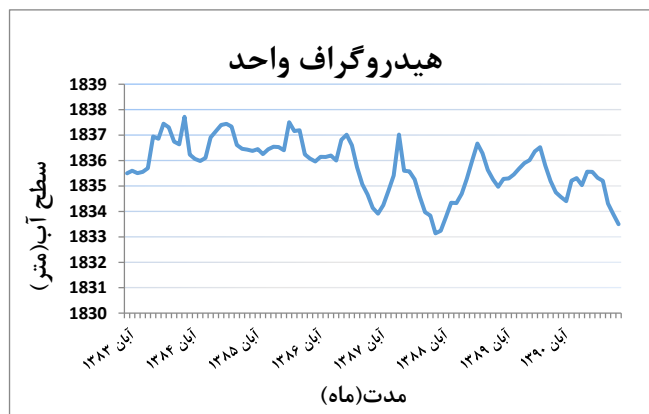
در ابتدای فرایند مدل سازی پس از جمع آوری کلیه اطلاعات مورد نیاز مدل، مدل مفهومی دشت برای درک شرایط آبخوان



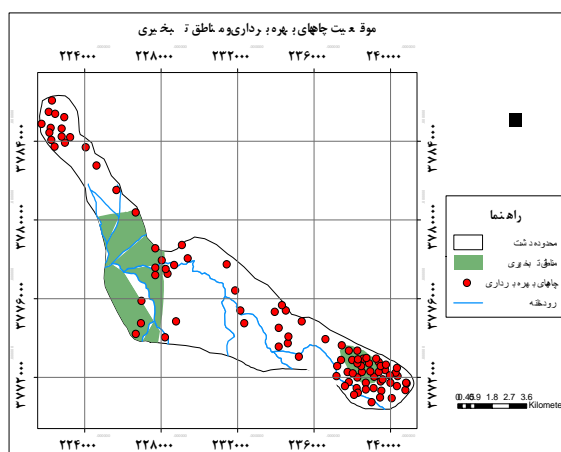
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- چاه‌های پیزومتری دشت نورآباد

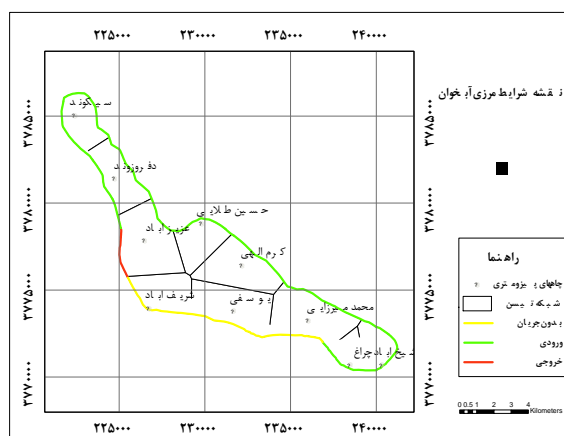
پیزومتر	مختصات X	مختصات Y	ارتفاع	مساحت پلیگون (km ²)
عزیز آباد	۲۲۶۴۹۷	۳۷۷۸۵۶	۱۸۰۳	۱۱/۹
چراغ	۲۳۸۴۷۹	۳۷۷۰۶۷	۱۹۱۵	۳/۰۸
دفرزوند	۲۲۴۷۴۷	۳۷۸۱۴۱۵	۱۸۰۷	۷/۳۴۳
حسین طلایی	۲۲۹۸۲۴	۳۷۷۸۸۶۱	۱۸۱۸	۶/۱
کرم الهی	۲۳۲۱۷۵	۳۷۷۶۴۵۷	۱۸۳۵	۹/۹
محمد میرزایی	۲۳۶۰۳۸	۳۷۷۳۲۶۵	۱۸۷۳	۱۱/۳۸
شریف آباد	۲۲۶۷۵۵	۳۷۷۳۸۶۵	۱۸۳۵	۶/۸۷
شیخ آباد	۲۴۰۳۳۹	۳۷۷۰۴۱۸	۱۹۴۵	۴/۳۵
یوسفی	۲۳۱۶۷۸	۳۷۷۳۸۲۳	۱۸۴۵	۱۰/۴۱
سیکوند	۲۲۲۴۲۰	۳۷۸۵۰۸۲	۱۸۲۷	۵/۸۵



شکل ۲- هیدروگراف واحد آب زیرزمینی دشت نورآباد



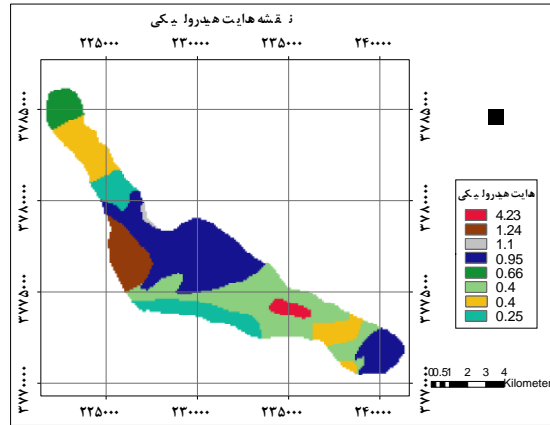
شکل ۳- موقعیت چاههای بهره برداری و یزومتري دشت



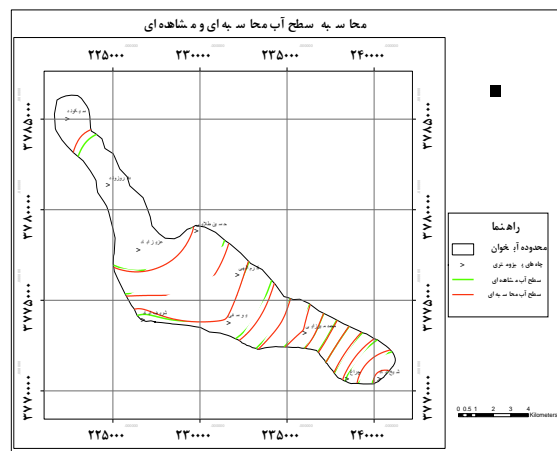
شکل ۴- ورودی و خروجی دشت

در تهیه این مدل از داده‌های مختلف از جمله نقشه‌های توپوگرافی، اطلاعات ژئوفیزیک، لاگ چاه‌ها، آزمون‌های پمپاژ و داده‌های چاه‌های مشاهداتی و دبی برداشتی از چاه‌های بهره برداری استفاده گردید (شکل ۳ و ۴).

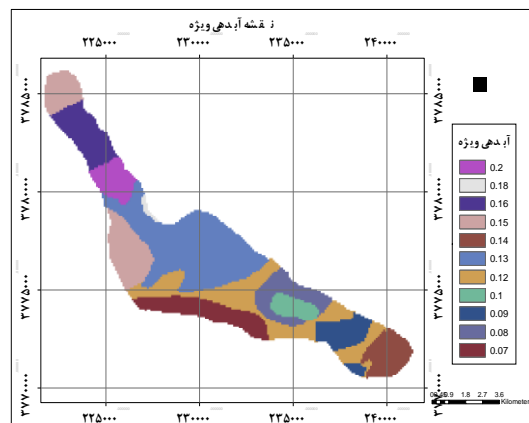
شامل تعیین هندسه، نوع و مواد تشکیل دهنده آبخوان، نحوه ارتباط آبخوان زیرزمینی با تشکیلات زمین شناسی پیرامون دشت و مجموعه‌های آب سطحی، شناسایی و حدود مرزهای هیدرولوژیکی، منابع تخلیه و تغذیه و سیستم جریان آب زیرزمینی تولید شد.



شکل ۵- هدایت هیدرولیکی بعد از واسنجی



شکل ۶- مقایسه سطح آب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده



شکل ۷- مقادیر آبدهی ویژه بعد از واسنجی

مربعات خطا واسنجی مدل تا مقدار 0.561 ادامه یافت تا مدل واسنجی شود.

پس از واسنجی در حالت پایدار، واسنجی در حالت ناپایدار برای مدت یک سال (آبان ۱۳۸۶ تا آبان ۱۳۸۷) انجام گرفت که در این

واسنجی مدل

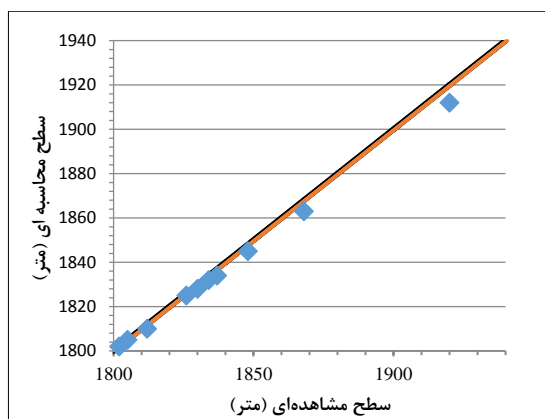
در واسنجی حالت ماندگار پارامتر هدایت هیدرولیکی بهینه می‌شود (شکل ۵) تا با اجزای مکرر مدل و ثبت خطاها، انطباق مطلوبی بین سطح آب واسنجی شده و سطح آب مشاهده‌ای حاصل شود (شکل ۶). نمودار نشان می‌دهد انطباق خوبی بین سطح آب مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد. همچنین با توجه به میانگین

به چاه‌های بهره‌برداری حساس می‌باشد (شکل ۹). در حالت ناپایدار، مدل بیشتر نسبت به آینده ویژه و هدایت هیدرولیکی حساسیت نشان می‌دهد و دیگر پارامترها در رده‌ی بعدی قرار دارند ولی تأثیر آنها هم نباید نادیده گرفته شود چون خطای آنها هم در نهایت به بیش از دو درصد می‌رسد. در کل می‌توان گفت که تا ۲۰ درصد افزایش و کاهش در مقدار این پارامترها، حساسیت مدل کم می‌باشد ولی بیشتر از آن خطاها به طور قابل توجهی زیاد و نمودارها از هم پراکنده می‌شوند (شکل ۱۰).

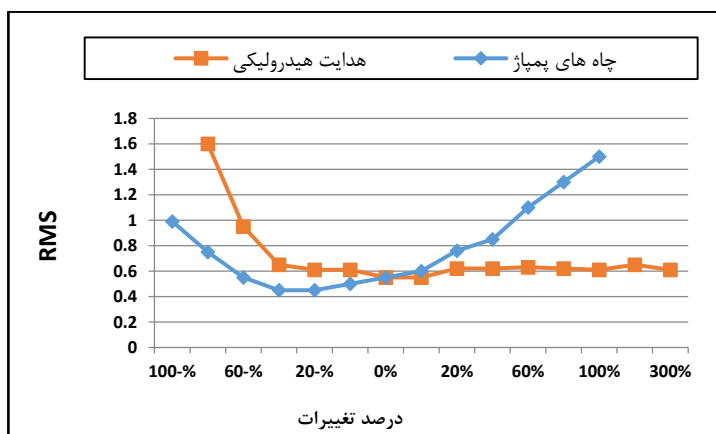
مرحله تمامی ورودی‌ها به دوره‌های ۱۲ گانه تقسیم شدند. در آخر آینده ویژه بهینه شد (شکل ۷) و نمودار پراکندگی بارهای آبی محاسباتی در مقابل مشاهداتی ترسیم گردید (شکل ۸).

تحلیل حساسیت

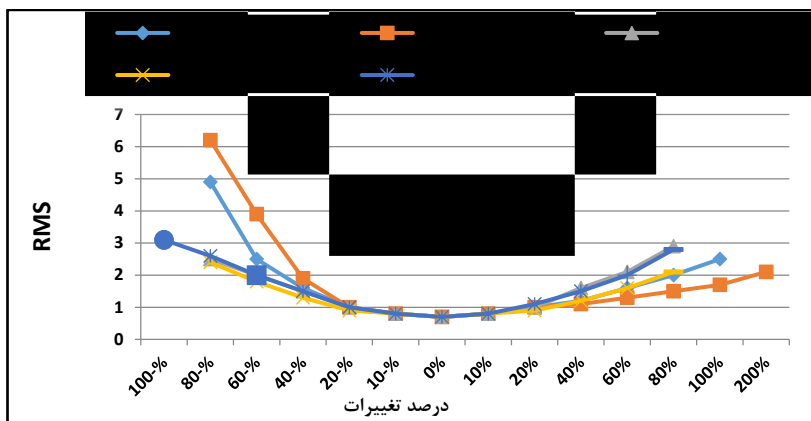
در حالت ماندگار، حساسیت مدل نسبت به تغییرات مقدار هدایت هیدرولیکی و آینده چاه‌های پمپاژ و در حالت ناپایدار نسبت به آینده ویژه و سایر پارامترها بررسی شده است. بر اساس این تحلیل در حالت پایدار، به طور کلی می‌توان گفت که مدل بیشتر



شکل ۸- مقایسه میانگین سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی در دوره ناپایدار



شکل ۹- تحلیل حساسیت در حالت پایدار



شکل ۱۰- تحلیل حساسیت در حالت ناپایدار

جدول ۲- مقادیر خطای محاسباتی در ۱۲ دوره صحت سنجی

دوره	آبان ۱۳۸۷	آذر ۱۳۸۷	دی ۱۳۸۷	بهمن ۱۳۸۷	اسفند ۱۳۸۷	فروردین ۱۳۸۸
درصد خطا	۰/۹۹۸	۱/۵۴۳	۰/۸۸۳	۱/۴۴۲	۱/۱۵۲	۱/۱۹۸
دوره	اردیبهشت ۱۳۸۸	خرداد ۱۳۸۸	تیر ۱۳۸۸	مرداد ۱۳۸۸	شهریور ۱۳۸۸	مهر ۱۳۸۸
درصد خطا	۰/۶۸۹	۰/۷۷۶	۰/۹۰۶	۰/۹۲۲	۰/۹۱۷	۰/۹۶۴

صحت سنجی مدل

بعد از واسنجی در حالت ناپایدار مدل نیازمند تایید یا صحت سنجی می باشد تا بتوان به آن اطمینان کرد. یک مدل که با دقت بالایی واسنجی شده باشد، چنانچه تحت تنش‌های مختلف غیر از تنش‌های دوره واسنجی قرار گیرد باید بدون تغییر منطقه بندی‌های به دست آمده برای مقادیر هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه، بتواند نتایج قابل قبولی را ارائه کند. بدین منظور صحت سنجی از آبان ۱۳۸۷ تا آبان ۱۳۸۸ انجام پذیرفت. در جدول (۲) مقادیر خطای محاسباتی در طی ۱۲ دوره را نشان داده شده است.

محاسبه شاخص استاندارد بارندگی^۱ و اعمال خشکسالی مجازی

خشکسالی یکی از بلاهای محیطی است که وقوع آن می‌تواند چالش‌هایی در زمینه کمیت و کیفیت آب به وجود بیاورد. چون خشکسالی و کمبود بارندگی بر منابع آب زیرزمینی و رطوبت خاک و جریان رودخانه‌ها موثر است از نمایه ای به نام شاخص استاندارد بارندگی استفاده می‌شود تا بتوان تأثیر کمبود بارندگی را در دوره های ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ... ماهه کمی کرد. محاسبه این شاخص براساس آمار طولانی مدت استوار است. ابتدا داده‌های بارندگی در آن دوره را بر یک توزیع احتمالی برازش داده و سپس به توزیع نرمال تبدیل می‌شود به طوری که میانگین داده ها برای دوره و

منطقه مورد نظر صفر شود. حال مقادیر مثبت شاخص استاندارد بارندگی بالاتر از میانه و مقادیر منفی شاخص استاندارد بارندگی پایین‌تر از میانه بارندگی داده‌ها خواهند بود. بنابراین چون شاخص استاندارد بارندگی نرمالیزه شده است طبقه بندی خشکسالی و ترسالی از نظر بازه تقسیم بندی متقارن خواهد بود. بر اساس شاخص استاندارد بارندگی میتوان برای هر سال یا هر دوره مورد نظر ۷ حالت مختلف را مشخص کرد که نشان دهنده وضعیت آب و هوایی در آن منطقه است (جدول ۳).

چنانچه در یک دوره آماری وضعیت آب و هوایی را بر اساس شاخص استاندارد بارندگی برای هر سال مشخص کنیم که این شاخص با توجه به فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$SPI = \frac{p - \bar{p}}{\sigma} \quad (1)$$

\bar{P} = میانگین بارندگی در طول دوره آماری، P = بارندگی در سال مورد نظر، σ = انحراف معیار داده‌های بارندگی
از هر زمان که شاخص استاندارد بارندگی از ۱- کوچک‌تر شده باشد خشکسالی آغاز و تا زمانی که این شاخص کمتر از ۱- باشد نشان دهنده آن است که خشکسالی هنوز ادامه داشته باشد و هر زمان که برعکس شاخص استاندارد بارندگی از ۱ تجاوز کرده باشد نشان دهنده آغاز یک دوره ترسالی بوده است (علیزاده، ۱۳۸۷). با

1- Standard Precipitation Index

شاخص بارندگی دیده شد که دشت در سال ۱۳۷۴ و ۱۳۷۵ دارای کمترین شاخص ۲۴ ماهه بارندگی به میزان $1/39$ - (۲۷۶ میلی‌متر) می‌باشد. وقتی که مدل اجرا شد و تمام پارامترهای مدل واسنجی شدند برای اعمال شرایط خشکسالی مجازی مدل با بارندگی ۲۷۶ میلی‌متر اجرا و شرایط آبخوان برای دو سال آینده شبیه سازی شد (جدول ۴).

توجه به آمار ۳۰ ساله دشت نورآباد که از سازمان آب منطقه ای تهیه شده بود پایش خشکسالی و ترسالی منطقه بر اساس شاخص بارندگی انجام گرفت. میانگین و انحراف از معیار بارندگی دشت نورآباد به ترتیب ۴۸۴ و ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. کمترین بارندگی دشت در سال ۱۳۷۷ با میزان ۲۵۲ میلی‌متر است که دشت در این سال وضعیت بسیار خشک را داشته است. با بررسی ۲۴ ماهه

جدول ۳- شاخص بارندگی برای پایش خشکسالی

شاخص بارندگی	وضعیت آب و هوایی
۲ و بیشتر	شدیداً مرطوب
بین $1/5$ تا $1/99$	بسیار مرطوب
بین $1/49$ تا ۱	مرطوب متوسط
بین $0/99$ تا $0/99$	نزدیک نرمال
بین 1 تا $1/49$	خشک متوسط
بین $1/5$ تا $1/49$	بسیار خشک
۲- و بیشتر	شدیداً خشک

جدول ۴- شاخص بارندگی دشت نورآباد

سال	بارندگی سالانه (میلی‌متر)	شاخص بارندگی (۱۲ ماهه)	شاخص بارندگی (۲۴ ماهه)
۱۳۶۱	۴۲۰	$-0/43$	$-0/8$
۱۳۶۲	۳۸۰	$-0/7$	$-0/85$
۱۳۶۳	۴۱۰	$-0/5$	$-0/99$
۱۳۶۴	۳۵۰	$-0/9$	$-0/97$
۱۳۶۵	۴۱۴	$-0/47$	$-0/73$
۱۳۶۶	۴۰۲	$-0/55$	$-1/1$
۱۳۶۷	۳۳۵	-1	$-0/4$
۱۳۶۸	۵۴۷	$0/42$	$-0/43$
۱۳۶۹	۳۳۲	$-1/02$	$0/55$
۱۳۷۰	۷۵۶/۵	$1/82$	$0/53$
۱۳۷۱	۳۲۸	$-1/05$	$-1/3$
۱۳۷۲	۳۵۷/۵	$-0/85$	$0/4$
۱۳۷۳	۶۹۸/۱	$1/43$	$0/32$
۱۳۷۴	۳۴۱/۵	$0/95$	$-1/39(276)$
۱۳۷۵	۳۴۴/۵	-1	$-0/53$
۱۳۷۶	۵۲۲/۵	$0/26$	$-0/93$
۱۳۷۷	۲۵۱/۵	$-1/56$	$-1/21(357/5)$
۱۳۷۸	۴۶۳/۵	$-0/14$	$0/21$
۱۳۷۹	۵۲۲/۵	$0/46$	$0/69$

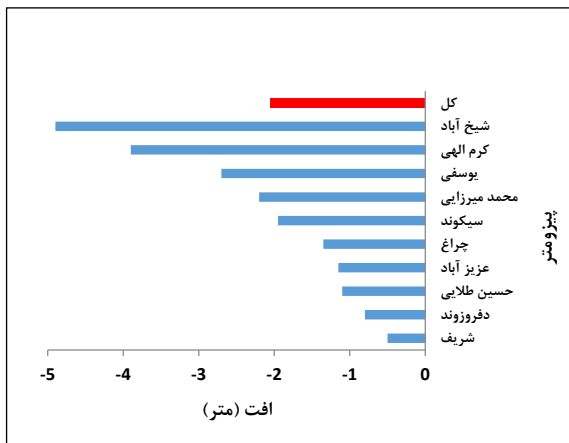
ادامه جدول ۴

سال	بارندگی سالانه (میلی‌متر)	شاخص بارندگی (۱۲ ماهه)	شاخص بارندگی (۲۴ ماهه)
۱۳۸۰	۵۶۵	۰/۵۴	۰/۵۱
۱۳۸۱	۵۱۵	۰/۲۱	-۱/۳۰
۱۳۸۲	۷۳۲	۱/۶۶	۱/۵۹
۱۳۸۳	۵۷۶	۰/۶۱	۱/۴۳
۱۳۸۴	۶۹۷	۱/۴۲	۲/۳۹
۱۳۸۵	۷۷۹	۱/۹۷	۰/۶۴
۱۳۸۶	۳۲۷	-۱/۰۵	-۰/۸۸
۱۳۸۷	۴۵۷/۵	-۰/۱۸	۰/۹۰
۱۳۸۸	۷۰۴	۱/۴۷	۱/۱۹
۱۳۸۹	۵۲۰	۰/۲۴	۴/۰۴
۱۳۹۰	۴۶۰	-۰/۱۶	-۰/۱۲
میانگین	۴۸۴/۲۹	۰	۰
انحراف معیار	۱۴۹/۵۴	۱	۱

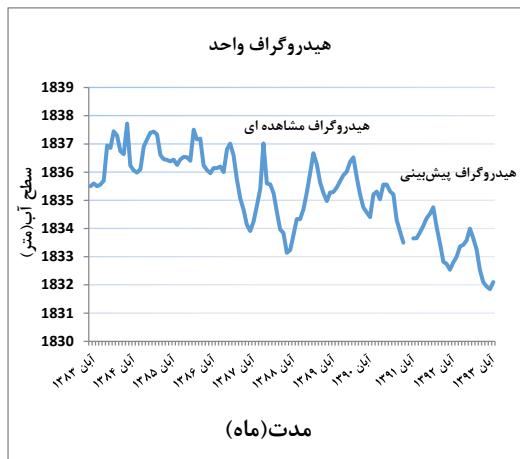
نتایج و بحث

بعد از صحت سنجی، مدل آماده اجرا و وضعیت آبخوان برای دو سال آینده (آبان ۱۳۹۱ تا آبان ۱۳۹۳) پیش بینی شد. با استخراج داده‌های سطح آب محاسبه شده توسط مدل برای کل پیژومترها در طی ۲۴ ماه، هیدروگراف واحد دشت رسم گردید و جهت آگاهی از صحت مدل، در ادامه با هیدروگراف واحد مشاهده‌ای دشت در سال‌های قبل مورد مقایسه قرار گرفت. در بین زمان مشاهده‌ای و زمان پیش بینی، محدوده‌ای وجود دارد که فاقد آمار و اطلاعات در زمان جمع آوری اطلاعات بود ولی با نگاهی به هیدروگراف واحد محاسبه‌ای می‌توان فهمید که با ادامه توالی آن از انطباق خوبی برخوردار است که باز هم دلیل محکمی بر اجرای دقیق مدل می‌باشد و همان‌طور که در شکل (۱۱) دیده می‌شود هیدروگراف روند سینوسی بودن و نزولی بودن خود را حفظ کرده است. با توجه به هیدروگراف واحد مشاهده‌ای دشت، مقدار تغییرات متوسط سالانه $0/81$ - متر بوده است و مقدار تغییرات متوسط سالانه در دوره‌ی پیش بینی شده برابر با $0/78$ - متر و در مجموع این دو سال $1/55$ - متر به دست آمده است که بسیار به هم نزدیک می‌باشند. در دوره پیش بینی همان‌طور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود سطح آب در تمام پیژومترها افت می‌کند. در این حالت نیز لازم است منحنی‌های هم افت سطح آب را نیز مورد بررسی قرار گیرد تا نقاط بحرانی سفره مشخص شوند. در شکل (۱۲) منحنی‌های افت سطح آب برای دو سال آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین افت در قسمت‌های مرکزی، شمالی و جنوبی سفره بوده است که علت

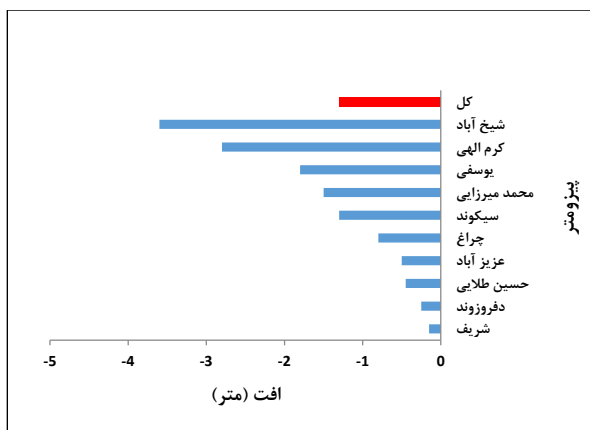
آن تمرکز بیشتر چاه‌های بهره برداری در این مناطق است. قسمت شمال شرقی حوضه به علت کمتر بودن چاه‌های بهره برداری و قرار گرفتن در قسمت ورودی حوضه و آبدی ویژه نسبتاً بالا دارای افت کمتری است. برای کاهش افت سطح آب سفره در این نواحی، با در نظر گرفتن مقدار افت و نیاز آبی منطقه، اجراهای مختلفی صورت گرفت که نهایتاً نتایج نشان داد برای جبران افت سطح آب سفره در این سه ناحیه بهره برداری، باید آبدی چاه‌های بهره برداری به میزان ۲۰ درصد کاهش یابد. شکل (۱۳) میزان افت سطح آب را برای دو سال آینده نشان می‌دهد. به وضوح دیده می‌شود که افت سطح آب کاهش چشمگیری داشته است. این استراتژی توانسته است که میزان افت متوسط سالانه در دشت برای دو سال آینده را تا $0/93$ - متر کاهش دهد که با توجه به شرایط اجتماعی موجود در منطقه برای جبران این مقدار افت باقیمانده باید طرح کاهش آبدی سال‌های بیشتری ادامه یابد. با بررسی دشت در شرایط خشکسالی پیش بینی شد که در این شرایط تراز سطح آب به طور متوسط $2/05$ - متر کاهش می‌یابد (شکل ۱۴). در این وضعیت برای مدیریت دشت اجراهای مختلفی انجام گرفت که در نهایت نتایج نشان داد با توجه به شرایط منطقه می‌توان با کاهش ۲۰ درصدی آبدی چاه‌های بهره برداری، میزان افت تراز آب زیرزمینی را تا $1/3$ - متر کاهش داد (شکل ۱۵) که این کاهش برداشت می‌تواند میزان افت را به میزان $0/75$ - متر بهبود بخشد.



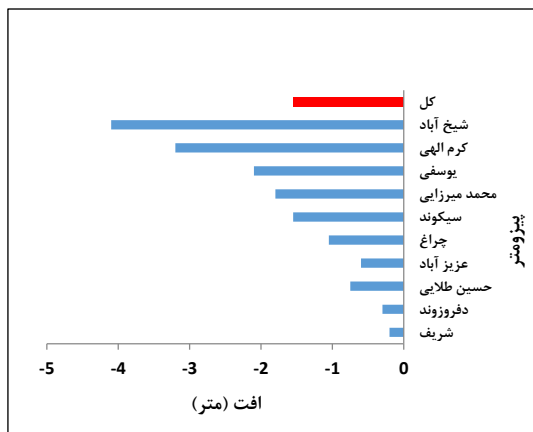
شکل ۱۴- افت سطح ایستابی در دو سال آینده با اعمال خشکسالی



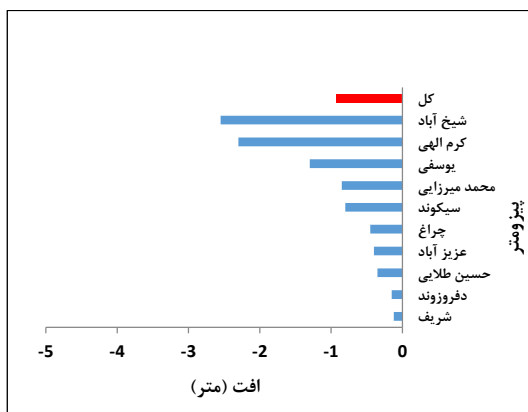
شکل ۱۱- هیدروگراف واحد دشت



شکل ۱۵- افت سطح ایستابی در دو سال آینده با اعمال خشکسالی و کاهش ۲۰ درصدی دبی



شکل ۱۲- افت سطح ایستابی در دو سال آینده



شکل ۱۳- افت سطح ایستابی در دو سال آینده با کاهش ۲۰ درصدی چاه‌های بهره برداری

در آخر بعد از اجرای مدل و محاسبه افت پیژومترها، از مدل دشت جهت به دست آوردن بیلان آب زیرزمینی آبخوان در زمان اجرای مدل استفاده گردید که نتایج آن برای سال آبی ۹۳-۹۱ در جدول (۵) ارائه گردیده است.

جدول ۵- اجزا و مقادیر بیلان آبی دشت نورآباد برای دو سال آینده (متر مکعب)

اجزای بیلان	شرایط عادی		شرایط کاهش دبی		شرایط خشکسالی		شرایط خشکسالی و کاهش دبی	
	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی
چاه‌ها	-	-۴۴۸۶۰۰۰۰	-	-۳۵۸۸۰۰۰۰	-	-۴۴۸۶۰۰۰۰	-	۳۵۸۸۰۰۰۰
تبخیر	-	-۲۴۰۰۰۰۰۰	-	-۲۴۳۰۰۰۰۰۰	-	-۲۴۸۴۰۰۰۰	-	-۲۴۹۶۰۰۰۰
تغذیه	+۱۴۷۸۰۰۰۰۰	-	+۱۴۸۲۴۰۰۰۰	-	+۱۰۷۸۰۰۰۰۰	-	۱۰۷۶۰۰۰۰۰	
جریان زیرزمینی رودخانه	+۲۷۹۶۰۰۰۰۰	-۴۲۶۰۰۰۰۰	+۲۵۳۰۰۰۰۰۰	-۴۸۰۰۰۰۰۰۰	+۲۶۸۰۰۰۰۰۰	-۴۲۴۰۰۰۰۰۰	۲۵۹۶۰۰۰۰۰	
مجموع	+۴۴۳۶۸۰۰۰۰	-۶۰۳۸۰۰۰۰۰	+۴۱۷۳۴۰۰۰۰	-۵۱۵۱۰۰۰۰۰	+۳۹۲۱۲۰۰۰۰	-۶۰۴۲۴۰۰۰۰۰	+۳۸۳۷۰۰۰۰۰	
ورودی- خروجی	-۱۶۰۱۲۰۰۰۰	-۹۷۷۶۰۰۰۰	-۲۱۲۱۲۰۰۰۰	-۱۳۶۴۶۰۰۰۰	-	-	-	

نتیجه گیری

د- برای دو سال آینده در شرایط کنونی برداشت، بیلان دشت (۱۶-) میلیون متر مکعب است که با کاهش ۲۰ درصدی بهره برداری از چاه‌ها این بیلان ۹/۷- میلیون متر مکعب در دو سال بعدی پیش بینی می‌شود.

ه- در شرایط خشکسالی در طی دو سال بیلان آبخوان نورآباد ۲۱/۲۱- میلیون متر مکعب پیش‌بینی می‌شود که با کاهش ۲۰ درصدی برداشت از چاه‌ها این بیلان تا ۱۳/۶۴- میلیون متر مکعب افزایش پیدا می‌کند.

و- بیشترین افت بعد از دو سال در مناطق مرکزی و جنوبی و کمترین میزان افت در مناطق جنوب غربی رخ خواهد داد.

الف- طبق هیدروگراف واحد در دو سال اخیر آبخوان نورآباد روندی نزولی داشته و تراز آب زیرزمینی به طور متوسط به میزان ۰/۸۲ متر کاهش نشان می‌دهد که این موضوع نشان دهنده فشار برداشت بر آبخوان می‌باشد.

ب- نتایج پیش‌بینی مدل نشان داد تراز آب زیرزمینی آبخوان در دو سال آینده روند نزولی داشته و سطح آب زیرزمینی ۱/۵۵- متر کاهش می‌یابد.

ج- با کاهش ۲۰ درصدی بهره برداری از چاه‌ها در شرایط خشکسالی، برای دو سال آینده میزان افت سطح ایستابی حدود ۱/۳- متر پیش‌بینی می‌شود.

منابع

- ۱- حیدری، ص. (۱۳۹۱). شبیه‌سازی کمی منابع آب زیرزمینی در سناریوهای مختلف جهت مصارف کشاورزی با استفاده از مدل PMWIN در دشت قلعه تل. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، گروه آبیاری و زهکشی. ۱۵۰ ص.
- ۲- عطایی زاده، س، چیت سازان، م. (۱۳۸۸). بررسی تاثیر خشکسالی بر کاهش کمی آب‌های زیرزمینی دشت میداود با استفاده از مدل ریاضی. در لوح فشرده مجموعه مقالات دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریتی آن، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان و ستاد حوادث غیر مترقبه استانداری اصفهان، اصفهان، ۳۰ تا ۳۱ اردیبهشت.
- ۳- علیزاده، ا. ۱۳۸۷. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست و چهارم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، ۸۷۰ صفحه.

- ۴- فاتحی مرج، ا. ۱۳۸۷. ارزیابی تغذیه مصنوعی به وسیله پخش سیلاب با استفاده از مدل ریاضی در دشت آب باریک بیم (استان کرمان). گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیز داری، ۱۳۶ صفحه.
- ۵- کتیبه، ه و س. حافظی. ۱۳۸۳. بکارگیری مدل MODFLOW مدیریت بهره برداری آب‌های زیرزمینی و ارزیابی عملکرد طرح تغذیه مصنوعی دشت آب باریک بیم. مجله آب و فاضلاب، جلد پانزدهم، شماره دو، صفحات ۴۵-۵۸.
- ۶- کریمی، ز، پرهمت، ج، حیدری زاده، م و ع. کلاهی. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر آبهای سطحی بروی سطح آب زیرزمینی دشت ماهیدشت. مجله علوم زمین، جلد هفتم، شماره ۲۳، صفحات ۶۳-۷۸.
- ۷- بی نام. ۱۳۹۰. دفتر مطالعات آمار برداری، شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان.

- 8- Anderson, M. P and W. W. Woessner. 1992. Applied ground water modeling: Simulation of flow and defective transport. Academic Press, Inc, 381 pages.
- 9- Enrique, R. V. 2000. Distributed aquifer recharge enhancement in arid zones. Massachusetts Institute of Technology, 380 pages.
- 10- Holman, I. P., Tascone, D and T. M. Hess. 2009. A comparison of stochastic and deterministic downscaling methods for modeling potential groundwater recharge under climate change in east anglia, UK: Implications for groundwater resource management. Hydrogeology Journal, 17: 1629-1641.
- 11- Kinzelbach, W. 1986. Ground water modeling: An introduction with sample programs in BASIC Development in Water Science. Elsevier, 344 pages.
- 12- Mehl, S and M. Hill. 2010. Grid-size dependence of gauchy boundary conditions used to simulate stream-aquifer interactions. Advances in Water Resources, 33: 422-430.
- 13- Pliakas, F., Petalas, C., Diamantis, I and A. Kallioras. 2005. Modeling of groundwater artificial recharge by reactivating an old stream bed. Water Resources Management, 19: 279-294.
- 14- Wang, S., Shao, J., Song, X., Zhang, Y., Huo, Z and X. Zhou. 2008. Application of MODFLOW and geographical information system to groundwater flow simulation in North plain, China. Environmental Geological, 55: 1449-1462.