نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره1، جلد 11، فروردین - اردیبهشت 1396، ص. 10-1

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 11, Apr.-May. 2017, p. 1-10

ارزیابی شبکه عصبی مصنوعی و مدل عددی MODFLOW در پیش‌بینی سطح ایستابی (مطالعه موردی: خراسان جنوبی - دشت بیرجند)

محسن محتشم[1]، امیر احمد دهقانی[2]، ابوالفضل اکبرپور[3*]، مهدی مفتاح هلقی[4]

تاریخ دریافت: 1394/12/1 تاریخ پذیرش: 1395/9/29

چکیده

آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تامین آب شرب و کشاورزی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح بوده است. دشت بیرجند با قرار گرفتن در منطقه خشک، استفاده از آب‌های زیرزمینی را به عنوان تنها منبع تولید آب شیرین در اختیار دارد. پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت می‌تواند کمک شایانی به برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های بعدی، جهت تامین دراز مدت آب شرب، کشاورزی و صنعت نماید. هدف از این تحقیق مقایسه دو روش مدل عددی MODFLOW و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی سطح ایستابی دشت بیرجند می‌باشد. شبکه عصبی مصنوعی یکی از روش‌های هوشمند بوده که با استفاده از ارتباط ذاتی داده‌ها، روابط غیرخطی بین آن‌ها را آموزش دیده و نتایج را برای بقیه حالات تعمیم می‌دهد. مدل عددی نیز با دریافت کلیه اطلاعات مربوط به یک آبخوان که به صورت لایه‌های GIS می‌باشد، قادر به پیش‌بینی سطح آب در آینده است. نرم افزار GMS برای حل عددی معادله حاکم بر حرکت آب زیرزمینی از دو روش المان محدود و تفاضل محدود استفاده می‌نماید که در این تحقیق از روش تفاضل محدود استفاده شد. مدل عددی برای دو حالت ماندگار و غیرماندگار و در سه سناریوی ترسالی، نرمال و خشک‌سالی اجرا و مورد مقایسه قرار گرفت. در بخش مدل شبکه عصبی، ورودی‌های مدل عبارت است از، میزان برداشت از چاه‌های آب، میزان آب ورودی به هر چندضلعی بر حسب مترمکعب (ناشی از بارندگی منطقه) و تراز سطح آب در هر پیزومتر در گام زمانی قبل و خروجی مدل، تراز سطح آب در گام زمانی فعلی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی می‌توان با دقت مناسبی سطح آب زیرزمینی را تا 12 ماه بعد پیش‌بینی نمود، ضمن آن‌که در تعدادی از پیزومترها پیش‌بینی تا 18 ماه نیز از دقت مناسبی برخوردار است. مدل عددیMODFLOW نیز تا 24 ماه آتی و با دقت بیش‌تری نسبت به شبکه عصبی مصنوعی تغییرات سطح آب را پیش‌بینی می‌نماید.

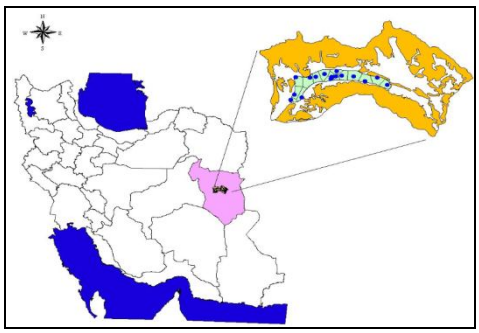
واژه‌های کلیدی: آبخوان بیرجند، آب‌های زیرزمینی، شبکه عصبی مصنوعی، GMS

مقدمه

بخش وسیعی از کشور در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است. میانگین بارندگی سالانه در سطح خشکی‌های کره زمین حدود 860 میلی‌متر تخمین زده می‌شود در حالی‌که متوسط بارندگی سالیانه ایران، تقریبا رقمی معادل 240 میلی‌متر است، که کم‌تر از یک سوم متوسط خشکی‌های زمین می‌باشد (علیزاده، 1380). آب‌های زیرزمینی به عنوان تنها منبع مورد اعتماد مصرف آب در زمینه‌های شرب، کشاورزی و صنعت در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند. با توجه به این‌که ریزش‌های جوی در این مناطق عمدتا به گونه‌ای است که در زمان‌های محدود اتفاق می‌افتد، بنابراین جریان‌های سطحی عموما به صورت سیلابی و پس از هر بارش مشاهده و قطع می‌گردد. بنابراین در این مناطق مهار و بهره‌برداری از آب‌های سطحی فقط به شکل برنامه‌های آبخیزداری و در جهت تغذیه آب‌های زیرزمینی انجام می‌گیرد، بنابراین کلیه برنامه‌ریزی‌های کوتاه مدت و دراز مدت تامین آب در این مناطق، بر مبنای حجم آب زیرزمینی در دسترس می‌باشد. تاکنون مدل‌های زیادی جهت پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی به کار برده شده است. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های سری زمانی تجربی و مدل‌های فیزیکی اشاره نمود. از مدل‌های سری زمانی تجربی، به طور گسترده‌ای برای مدل‌سازی سطح آب زیرزمینی استفاده شده است، ولی هنگامی که رفتار دینامیکی یک سیستم هیدرولوژیکی با گذشت زمان تغییر می‌کند

1- کارشناس ارشد شرکت آب و فاضلاب مشهد
2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
3- دانشیارگروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند
4- دانشیارگروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: (Email: Akbarpour@birjand.ac.ir

مدل‌های یاد شده برای پیش‌بینی پارامترهای منابع آب توانایی کافی نداشته و مدل‌های مناسبی نیستند (Bierkens., 1998). از طرف دیگر، مدل‌های فیزیکی نیز در عمل به داده‌های زیادی برای شبیه-سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی نیاز دارند و از آن‌جا که روابط بین متغیرهای موثر بر سطح آب زیرزمینی احتمالا پیچیده و غیرخطی می‌باشد، مدل‌های فوق در ارایه رابطه بین این متغیرها نمی‌توانند به خوبی عمل کنند (Nayak et al., 2006). ایزدی و همکاران (1386) در دشت نیشابور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بیان داشتند که پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در طی 6 ماه آینده نتایج نسبتا خوبی را ارایه می‌نماید. متغیرهای ورودی شبکه عصبی در دشت نیشابور شامل سطح آب زیرزمینی در زمان $t-1$، تبخیر و تعرق گیاه مرجع و بارندگی در هر چندضلعی بوده است. محتشم و همکاران (1389) به ارزیابی این روش در دشت بیرجند پرداختند. نتایج آن‌ها نیز تاکید بر صحت این روش دارد. مدل ریاضی شبیه‌ساز یک سامانه هیدروژئولوژیکی است که از قوانین فیزیک و ریاضی کمک می‌گیرد. دو مولفه اصلی آن، مدل مفهومی و مدل عددی می‌باشند. مدل مفهومی‌در حقیقت تصویر ساده شده‌ای از سامانه می‌باشد مدل‌ریاضی، مجموعه‌ای از فرمول‌های ریاضی است که با توجه به فرضیات خاص، به فرآیندهای فیزیکی فعال در درون سامانه آبخوان مقدار می‌بخشد. بدیهی است که مدل به خودی خود جزیی از سامانه آب زیرزمینی را شامل نمی‌شود، ولی رفتار یک مدل معتبر تقریبا نشان‌دهنده رفتار آبخوان می‌باشد. مدل آب زیرزمینی ابزاری در اختیار می‌دهد تا بتوان داده‌های موجود را تبدیل به ویژگی‌های عددی برای سامانه آب زیرزمینی نمود، چنین مدلی تا حد زیادی نماینده سامانه آب زیرزمینی خواهد بود و این امکان را به کارشناس می‌دهد تا بتواند واکنش سامانه در برابر تنش‌های هیدرولوژیکی پمپاژ را به صورت عددی نشان دهد (نشریه وزارت نیرو). اکبرپور و همکاران (1389) استفاده از



شکل 1- موقعیت مکانی دشت بیرجند در کشور

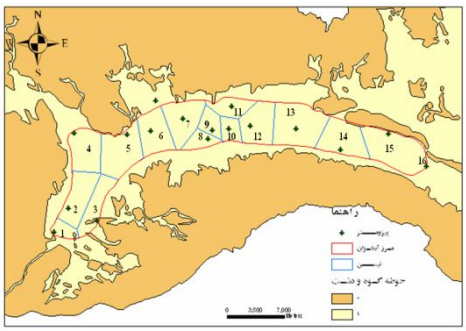
دشت بیرجند مانند بسیاری از دشت‌های دیگر کشور به دلیل خشکسالی‌های ممتد و برداشت‌های بی‌رویه توسط کشاورزان با افت نسبی مواجه شده است، لذا در بخش شبکه عصبی مصنوعی یکی از

مدل‌های ریاضی را جهت بهره‌برداری از دشت مختاران واقع در استان خراسان جنوبی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل-های ریاضی می‌تواند در بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی کمک شایانی بنماید. همچنین اکبرپور و همکاران (1390) استفاده از مدل-های WEAP وMODFLOW را در مدیریت آب‌های زیرزمینی استان خراسان جنوبی مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که تلفیق دو مدل فوق می‌تواند در مدیریت آب‌های زیرزمینی و برنامه-ریزی منابع آب مفید واقع شود. در این تحقیق هدف مقایسه و ارزیابی دو روش شبکه عصبی مصنوعی و مدل ریاضی MODFLOW در پیش‌بینی سطح آب‌های زیرزمینی دشت بیرجند می‌باشد. که تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز بیرجند دارای وسعت 3155 کیلومترمربع بوده، که 1045 کیلومتر دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد (شکل شماره 1 و 2). این دشت از شرق به ارتفاعات مومن‌آباد و سیستان، از جنوب به کوه‌های باقران و کوه رج، از شمال به ارتفاعات شاه ناصر و اسفدن و بند دره و از غرب به ارتفاعات چنگ در و گرونگ محدود می‌شود. دشت بیرجند طبق طبقه‌بندی‌های اقلیمی جز مناطق خشک محسوب می‌شود. از نظر توپوگرافی مرتفع‌ترین نقطه آن مربوط به ارتفاعات شمالی منطقه در کوه بند دره با ارتفاع 2787 متر و پست‌ترین نقطه آن در خروجی دشت در روستای فدشک با ارتفاع 1240 متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد. شیب زمین در قسمت‌های شرقی زیاد و هرچه به سمت غرب و قسمت انتهایی دشت، شیب آن کم و سطح زمین تقریبا حالت مسطح دارد.



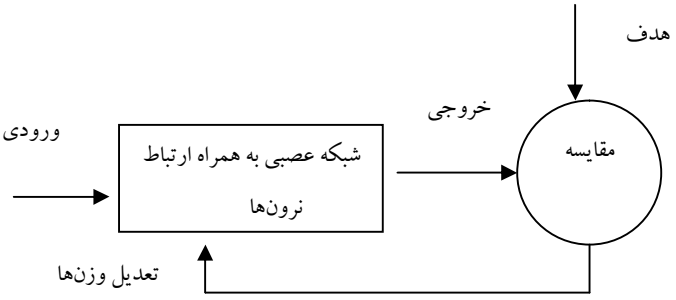
شکل2- دشت بیرجند و پیزومترهای انتخابی همراه با چندضلعی‌ها

متغیرهای در نظر گرفته شده برای برآورد سطح آب زیرزمینی، میزان برداشت آب از سطح سفره آب زیرزمینی می‌باشد. در بسیاری از تحقیقات پیشین متغیرهای در نظر گرفته شده برای پیش‌بینی سطح

آب زیرزمینی، متغیرهای بارندگی، دمای حداکثر، دمای حداقل و متوسط می‌باشد و به دلیل موجود نبودن اطلاعات مربوط به برداشت از سفره آب زیرزمینی در مقیاس ماهیانه در طول دوره مطالعه، متغیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع به عنوان معرفی برای برداشت از سفره آب زیرزمینی انتخاب شده است. متغیرهای عنوان شده در بسیاری از تحقیقات دیگر نیز به عنوان ورودی‌های شبکه درنظر گرفته شده) اند(Coulibaly et al., 2001. در این تحقیق متغیرهای در نظر گرفته شده برای ورودی شبکه به ترتیب، تراز سطح آب هر پیزومتر درگام زمانی، میزان آب ورودی به هر چندضلعی بر حسب مترمکعب که ناشی از میزان بارندگی در آن منطقه می‌باشد و در نهایت میزان برداشت آب توسط چاه‌های آب شرب، صنعت و کشاورزی بر حسب مترمکعب در ماه، از هر چندضلعی می‌باشد. تعداد 16 پیزومتر که دارای طول آماری به طور متوسط 130 ماهه بودند به پیشنهاد کارشناسان آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی انتخاب و در سامانه اطلاعات جغرافیایی برای هر پیزومتر چندضلعی تیسن مربوطه رسم تا امکان مانور برای هر پیزومتر مقدور باشد. به کارگیری چندضلعی تیسن به این دلیل می‌باشد تا بعد فیزیکی نیز در متغیرهای ورودی شبکه‌های عصبی گنجانده شده و همچنین تغییرپذیری فضایی متغیر بارندگی در سطح دشت مدنظر قرار گیرد، بدین صورت متغیرهای هر تیسن می‌تواند تاثیر معنی‌داری در ارایه نتایج داشته باشد (Copola et al., 2003). با توجه به این‌که وسعت حوضه در مقایسه با سایر حوضه‌ها کم‌تر بوده و با استفاده از یک ایستگاه هواشناسی که تقریبا در مرکز حوضه قرار داشته و آمار بارندگی آن در طول دوره مطالعه به طور کامل وجود داشت، آب ورودی به هر چندضلعی بر اساس میزان بارندگی همان ایستگاه محاسبه شد. حجم آب برداشت شده از آبخوان در هر چندضلعی توسط چاه‌های حفر شده در آن محدوده محاسبه شد. کل چاه‌های موجود در دشت مورد مطالعه اعم از شرب، صنعت و کشاورزی 311 حلقه چاه می‌باشد. برای محاسبه حجم آب برداشت شده از آبخوان، در چاه‌های آب شرب که عموما دارای کنتورهای توربینی، الکترومغناطیس و یا آلتراسونیک بودند میزان برداشت‌ها در هر ماه مشخص بود و در چاه‌های کشاورزی که عمده برداشت توسط آن‌ها صورت می‌گرفت، بر اساس دبی آزمایش پمپاژ و ساعت کارکرد الکترو پمپ، حجم برداشت از آبخوان بر حسب مترمکعب مشخص شد.

شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی، برای اولین بار در سال 1943 توسط مک کولاک و پیتس معرفی شد، اما این روش برای مدت‌های طولانی بدون استفاده بود که بعدها با توسعه رایانه‌ها و همچنین ظهور الگوریتم آموزش پس انتشار خطا برای شبکه‌های پیش‌خور در سال 1986 توسط راملهارت و همکاران استفاده از آن‌ها وارد مرحله تازه‌ای گردید (مهدی‌زاده 1383). شبکه‌های عصبی مصنوعی ترکیبی از بهره‌برداری موازی از اجزای ساده است. این اجزا از سیستم عصبی الهام گرفته شده است. می‌توان شبکه عصبی مصنوعی را برای انجام یک تابع عملی به وسیله تنظیم مقادیر ارتباط (وزن‌ها) بین المان‌ها آموزش داد. همان‌گونه که در شکل 3 دیده می‌شود، شبکه بر اساس مقایسه بین خروجی شبکه و خروجی هدف تعدیل می‌شود، تا هنگامی که خروجی با هدف مطابقت کند (تسلطی، 1382).



شکل3- ساختار استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

برای آموزش شبکه عصبی، در هر گام مقدار وزن‌ها و اریبی‌ها با استفاده از قانون ویدور-هاف، طوری تغییر می‌یابند که جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) حداقل شود. مقدار خطای خروجی برابر اختلاف بین مقدار هدف و خروجی شبکه است. این خطا به شبکه باز گردانده می‌شود تا مقادیر جدید وزن‌ها با استفاده از الگوریتمی که (RMSE) را حداقل می‌کند محاسبه شود (مختاری،1380). جعبه ابزار شبکه عصبی مصنوعی در نرم افزار MATLAB(R2008a) علاوه بر امکان طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از توابع موجود، امکان طراحی و ساخت شبکه‌های عصبی مصنوعی در سطوح مختلف برنامه نویسی، مانند تعریف تابع تبدیل، روش حل، نوع لایه و ارتباط

بین نرون‌ها امکان‌پذیر می‌نماید. در این تحقیق به دلیل ویژگی‌های خاص MATLAB از آن به عنوان نرم افزار لازم در پیش‌بینی سطح ایستابی استفاده شد.

الگوریتم پس‌انتشار خطا

روش پس‌انتشار خطا یک روش سیستماتیک برای آموزش شبکه‌های چند لایه است. منظور از آموزش یک شبکه انتخابی، بر مبنای اطلاعات موجود، تنظیم مقادیر وزن‌ها و اریبی یا مقادیر ثابت اولیه به گونه‌ای است که خطای بین مقادیر خروجی محاسبه شده و مشاهده شده، حداقل گردد. این الگوریتم مبتنی بر قانون یادگیری اصلاح خطا می‌باشد. از قانون یادگیری پس‌انتشار برای آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی چند لایه پیش‌خور که عموما شبکه‌های چند لایه پرسپترون هم نامیده می‌شوند، استفاده می‌شود. این قانون از دو مسیر اصلی تشکیل شده است. در مسیر رفت بردار ورودی به شبکه اعمال شده و تاثیراتش از طریق لایه‌های میانی، به لایه خروجی انتشار می‌یابد. بردار خروجی ایجاد شده در لایه خروجی، پاسخ واقعی شبکه می‌باشند. در این مسیر پارامترهای شبکه، ثابت و بدون تغییر در نظر گرفته می‌شوند. در مسیر برگشت بر عکس مسیر رفت پارامترهای شبکه تغییر پیدا کرده و تنظیم می‌شوند. این تنظیم مطابق با قانون اصلاح خطا صورت می‌گیرد. سیگنال خطا در لایه خروجی شبکه تشکیل می‌شود. بردار خطا برابر با اختلاف بین پاسخ مطلوب و پاسخ واقعی شبکه می‌باشد. مقدار خطا پس از محاسبه، در مسیر برگشت از لایه خروجی و از طریق لایه‌های میانی شبکه در کل شبکه توزیع می‌گردد و چون این توزیع در خلاف مسیر ارتباطات وزنی محل اتصال دو عصب صورت می‌گیرد، به آن پس انتشار خطا می‌گویند.

مدل عددی MODFLOW

به طور کلی هر سیستم و جسمی که بتواند رفتارهای یک سیستم یا جسم فیزیکی واقعی را به صورت ساده و خلاصه شده نمایش دهد، مدل آن سیستم یا جسم نامیده می‌شود (Wang and Anderson., 1988). مدل آبخوان نیز وسیله‌ای است که می‌تواند تغییرات آبخوان را در اثر مکانیسم‌های مختلفی که بر روی آن انجام می‌شود، نشان دهد. به عبارت دیگر، وسیله‌ای است که واکنش‌های ایجاد شده در آبخوان در اثر تغذیه و برداشت‌ها را نشان می‌دهد. به همین جهت از آن به منظور پیش‌بینی و نظارت و اعمال مدیریت منابع آب استفاده می‌شود. اهداف مدل‌سازی عبارتند از:

الف) بررسی گزینه‌های چگونگی به تعادل رساندن بیلان

ب) پیش‌بینی وضعیت آتی آبخوان تحت شرایط مختلف هیدرولوژیکی و گزینه‌های مختلف

پ) بررسی صحت داده‌های مدل مفهومی

ت) دنباله‌روی از روش‌های استاندارد مدل‌سازی ریاضی توام با ارایه کالیبراسیون معادله دیفرانسیل پایه‌ای جریان آب‌های زیرزمینی، توسط یک معادله جبری جایگزین (تقریب‌سازی) می‌شود. به طریقی که تمام میدان جریان توسط x معادله با x مجهول مشخص می‌شود. سیستم معادلات جبری مذکور، به صورت عددی از طریق فرایند تکرار، حل می‌گردد و به همین جهت، این نوع مدل را مدل‌های عددی می‌نامند. مدل‌های عددی بر اساس روش‌های .

گوناگون تقریب‌سازی، معادلات دیفرانسیل جریان و روش‌های حل عددی به چند گروه تقسیم می‌شوند که کاربردی‌ترین آن‌ها عبارتند از:

1- مدل عددی تفاضل محدود

2- مدل‌های عددی عناصر محدود

مدل مفهومی

طبق روند مدل‌سازی، پس از مشخص بودن اهداف مدل و انجام مطالعات پایه در این مرحله تهیه مدل مفهومی به عنوان پیش نیاز مدل ریاضی ضروری است. این مدل مجموعه زمین شناسی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی و بیلان آب را شامل می‌شود. به طور خلاصه موارد زیر در تهیه یک مدل مفهومی مورد توجه قرار می‌گیرند:

- فرم هندسی محدوده آبخوان
- نوع سازندهای زمین شناسی آبخوان از نظر همگنی و ناهمگنی، ارتباط بین لوگ چاه‌ها و تفکیک لایه‌ها
- نحوه بررسی مسئله (به صورت یک، دو و سه بعدی)
- تعیین نوع جریان به صورت ورقه‌ای و متلاطم
- بیلان آب زیرزمینی Water Balance
- شرایط مرزی و ارتباطی که آبخوان با محدوده خارج از خود دارد
- استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای نمایش دو بعدی و سه بعدی
- رودخانه‌ها، چاه‌ها، زهکش‌ها، قنات‌ها، نفوذ، تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی و ...
- موقعیت پیزومترها جهت بررسی مدل

مدل عددی

مدل ریاضی شامل نوشتن یک برنامه یا کد کامپیوتری می‌شود یا می‌تواند انتخاب کد مناسب باشد، برنامه‌ای که در این مطالعه موردی استفاده شد Mod flow واقع در نرم افزار GMS(Groundwater Modeling System) می‌باشد.

معادله حاکم

معادله حاکم (معادلـه 1)، در ایـن مـدل‌سـازی عبـارت اسـت از (معادله پواسون در حالت سه بعدی):

(1)

$$\frac{\partial}{\partial x}h\frac{\partial h}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial y}h\frac{\partial h}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial z}h\frac{\partial h}{\partial z}=S_y\frac{\partial h}{\partial t}\pm\frac{R}{2K_{xy}}$$

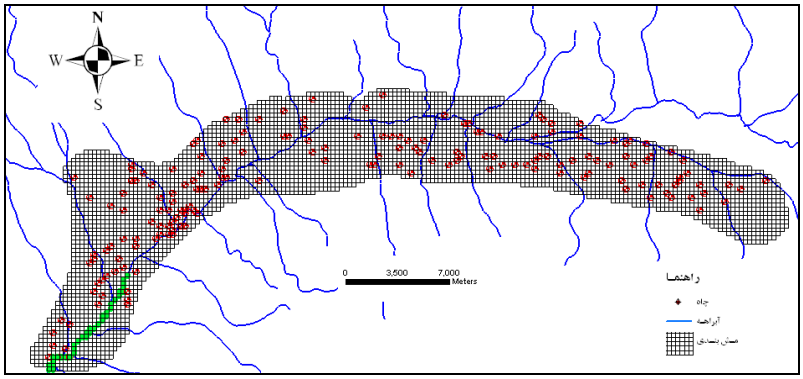
در این معادله مولفه‌های جریان آب زیرزمینی مربوط عبارتند از :

K_{xy} بار هیدرولیکی آبخوان یا سطح آب زیرزمینی از سطح تراز آزاد دریا.

$\frac{\partial}{\partial x}\frac{\partial h}{\partial x}$ مشتق جزیی مرتبه دوم بار هیدرولیکی در جهت محور مختصات X.

S_y آبدهی ویژه آبخوان که به ضریب ذخیره نیز معروف است.

R میزان برداشت از آبخوان(علامت منفی) یـا میـزان نفـوذ بـه آبخوان (علامت مثبت).



شکل 4- نحوه شبکه بندی و قرارگیری چاه‌ها و رودخانه‌ها در شبکه منطقه مورد مطالعه

جدول1- چگونگی تهیه داده‌های لازم برای مدل

مدل مفهومی	روش انتقال به مدل ریاضی
لایه سطح فوقانی لایه آبدار	استفاده ازلایه خطی اتوکدی توپوگرافی و نقاط ارتفاعی با مقیاس 1/25000 و سه بعدی نمودن آن و ساختن TIN توسط ماژول TIN نرم افزار GMS و سپس کابرد آن به عنوان سطح بالایی مدل
لایه سنگ کف آبخوان	استفاده از نقشه‌های ژئوفیزیکی اتوکدی و سه بعدی سازی آن‌ها در محیط ARCGIS و سپس انتقال آن به محیط مدل و ساختن TIN
قابلیت انتقال	استفاده از لایه
قابلیت هدایت هیدرولیکی	از تقسیم قابلیت انتقال بر ضخامت اشباع لایه آبدار مربوط به سال تهیه شده
لایه تخلیه از چاه‌ها و قنات‌ها	استفاده از لایه GIS چاه‌ها و انتقال آن به واحد Mapdata و ایجاد یک لایه اطلاعاتی جدید با فرمت well
لایه سطح آب	استفاده از روش Kriging توسط واحد 2Dscatterdata نرم افزار GMS
نفوذ از بارندگی به سلول‌های مدل	استفاده از Map data و ایجاد یک لایه اطلاعاتی جدید با تنظیم آن از نوع نفوذ areal recharge
لوگ چاه‌های اکتشافی	استفاده از واحد borehole data با وارد نمودن مختصات و تعداد لایه‌ها و جنس آن‌ها و ضخامت آن‌ها
مقاطع عرضی لایه‌ها	استفاده از واحد borehole data بخش cross section
مدل جامد	استفاده از واحد Solid data
بررسی صحت داده‌های آماده شده	چون در طی وارد کردن داده‌ها احتمال خطای شخص وجود داشت، نهایتا برای تمامی داده‌ها منحنی‌های مربوطه به واحد scatter data 2D نرم افزارGMS کنترل و داده‌های غلط اصلاح گردید.

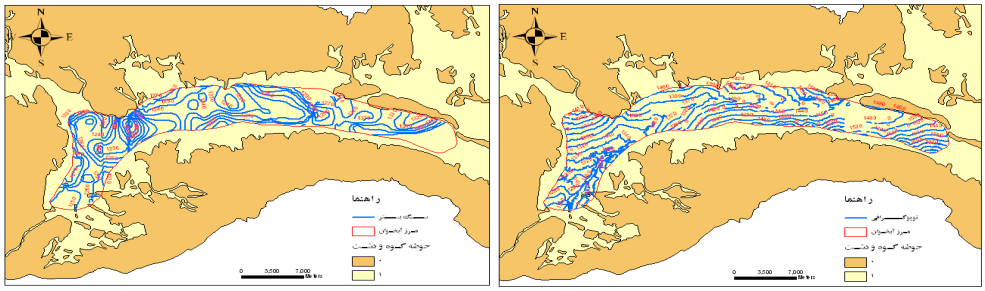
ایجاد شبکه

با توجه به لحاظ نمودن حل معادله دیفرانسیل به روش تفاضل محدود، بنابراین منطقه مورد نظر می‌بایست به مربع‌های کوچکی تقسیم شود تا دقت محاسبات بیش‌تر گردد. معمولا انتخاب شبکه یکنواخت از لحاظ عددی ترجیح داده می‌شود، ولی بعضی مواقع به طراحی شبکه غیر یکنواخت نیاز است (چیت‌سازان، 1384). در دشت بیرجند به لحاظ بررسی دقیق‌تر فاصله گره‌ها 250 متر و به صورت یکنواخت در تمام دشت در نظر گرفته شد. برای این منظور مختصات چهار نقطه که شمال، جنوب، شرق و غرب دشت را کاملا پوشش دهد را انتخاب کرده و شبکه را به صورت مستطیلی به کل مجموعه برازش داده و سپس به صورت دستی سلول‌هایی که خارج از مرز آبخوان واقع می‌شوند، حذف شدند (شکل 4).

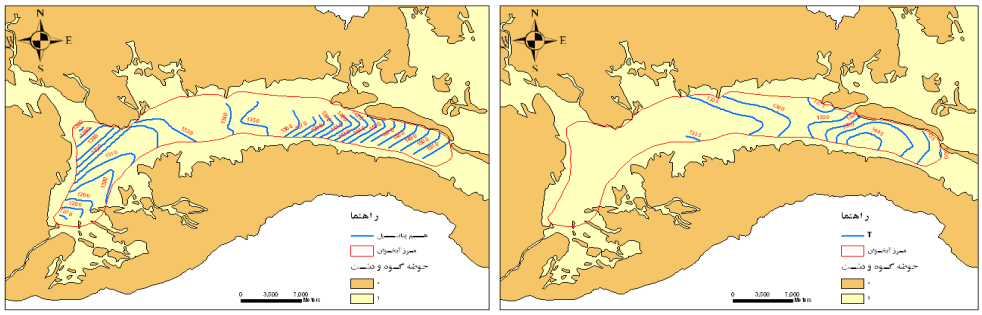
به طور اختصار مراحل مختلف تهیه مدل در جدول شماره 1 آمده است.

در شکل‌های 5 تا 7 نقشه توپوگرافی، سنگ کف، هم پتانسیل آب زیرزمینی، ضریب انتقال و نمای سطح و کف آبخوان دشت بیرجند آمده است.

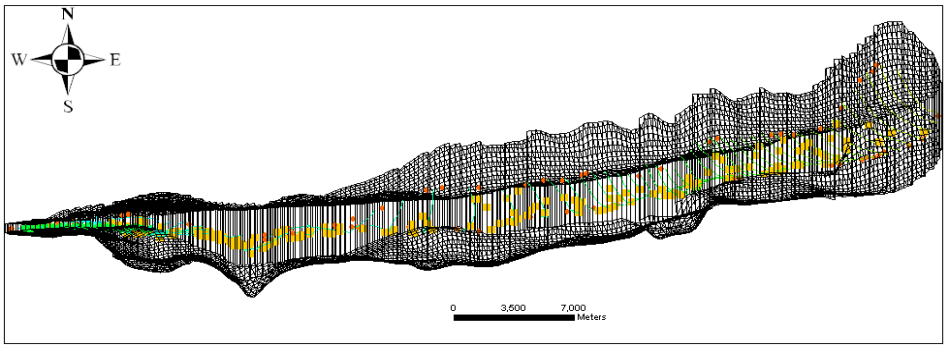
کالیبراسیون ضریب نفوذپذیری K و ضریب ذخیره S به صورت دستی انجام می‌شود و مبنای آن کاهش میزان خطای پیزومترها و تغییرات بیلان آبی دشت می‌باشد.



شکل 5- نقشه‌های هم‌عمق سنگ بستر و توپوگرافی دشت



شکل6- نقشه خطوط هم‌پتانسیل و ضریب انتقال آب زیرزمینی دشت



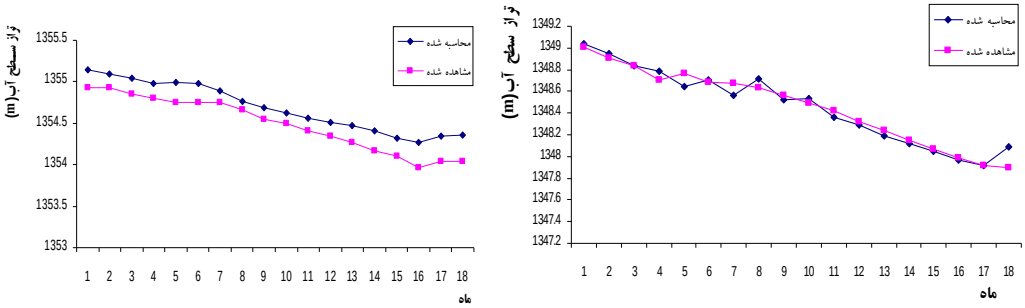
شکل7- نمای سطح و کف آبخوان و منطقه اشباع

نتایج و بحث

شبکه عصبی مصنوعی

در این تحقیق با استفاده از زبانه Simulate در جعبه ابزار نرم افزار MATLAB اقدام به شبیه‌سازی تراز سطح آب پس از آموزش شبکه شد که نتایج حاصل در نمودارها آمده است (شکل 8). با توجه به نمودارهای ارایه شده برای هر پیزومتر، می‌توان در دشت بیرجند

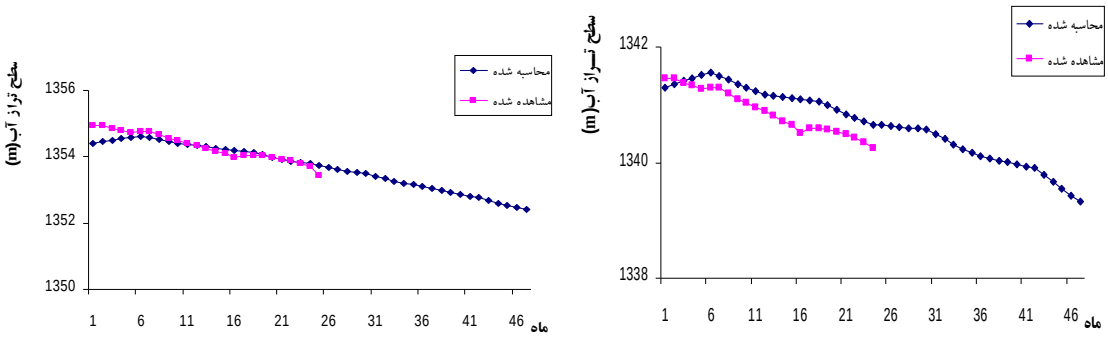
برای 16 پیزومتر مورد بررسی سطح آب را تا 12 ماه آینده با دقت مناسبی پیش‌بینی کرد. ضمن آن‌که در برخی از پیزومترها این دقت درتعداد ماه‌های بیش‌تری وجود دارد. مبنای مقایسه در این مرحله نیز R^2، MSE و RMSE بین سطح آب پیش‌بینی شده و مشاهده شده بود. پیزومترهای مرکزی دشت یعنی شماره‌های 4، 5، 6، 7، 8، 9، 10، 11، 12 و 13 از دقت بالاتری نسبت به پیزومترهای دو طرف دشت با شماره‌های 1، 2 و 3 (خروجی دشت) 14، 15 و 16 (ورودی دشت) برخوردار است که از دلایل این امر می‌توان به نزدیکی پیزومترهای میانی به ایستگاه هواشناسی و دوری پیزومترهای طرفین دشت به آن نام برد که به تبع در میزان آب ورودی به هر چندضلعی تاثیر گذار بوده است. شکل 8 نتایج حاصل از دو پیزومتر انتخابی را نشان می‌دهد.



شکل8- مقایسه سطح آب مشاهده شده و محاسبه شده با روش شبکه عصبی مصنوعی در پیزومترهای شماره 1 و 7

مدل عددی MODFLOW

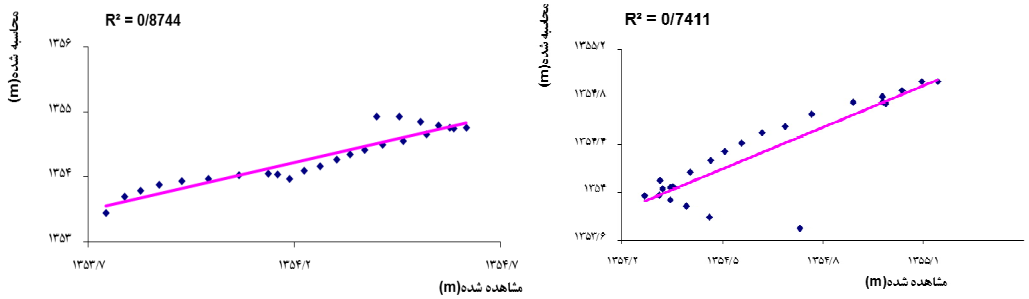
برای پیش‌بینی سطح ایستابی پس از ورود کامل اطلاعات به نرم افزار GMS و کالیبره کردن مدل در دو بخش ماندگار و غیرماندگار، بازه زمانی 24 ماهه برای صحت سنجی مدل در نظر گرفته شد. کالیبراسیون ضریب ذخیره می‌بایست به گونه‌ای باشد که میزان خطای پیزومترها برای تمام گام‌های زمانی 24 ماهه در حد استاندارد نرم افزار قرار گیرد. پس از این مرحله خروجی نرم افزار برای دو سال آینده جمعا تا 48 ماه، محاسبه شد (تا 24 ماه داده‌های مشاهده و محاسبه شده و تا 48 ماه فقط داده‌های محاسبه شده). این خروجی در پیزومترهای مختلف متفاوت بوده به گونه‌ای که تغییرسطح ایستابی در پیزومترهای خروجی دشت که عمق سطح ایستابی بالاست، روند خاصی را نشان نمی‌دهد و در سایر پیزومترها به تناسب عمق سطح ایستابی متغیر و دارای افت می‌باشد. شکل شماره 9 پیش‌بینی سطح آب در دو پیزومتر انتخابی در سطح دشت را نشان می‌دهد.



شکل 9- مقایسه سطح آب مشاهده شده و محاسبه شده با روش مدل عددی در پیزومترهای شماره 1 و 7

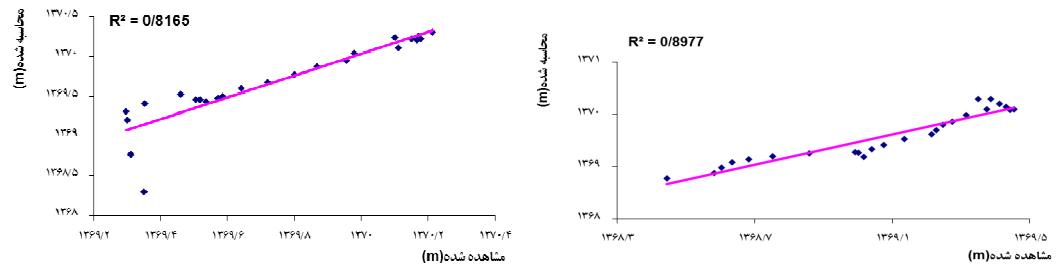
مقایسه نتایج مدل عددی و شبکه عصبی مصنوعی

همان‌گونه که در بخش 1-3 بیان شد شبکه عصبی مصنوعی قادر به پیش‌بینی سطح ایستابی تا 12 ماه و در برخی از پیزومترها تا 18 ماه می‌باشد، این موضوع برای مدل عددی عموما تا 24 ماه نتایج مطلوبی را ارایه می‌کند. شکل‌های 10، 11و 12 مقایسه بین مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده را در چند پیزومتر انتخابی نشان می‌دهد.



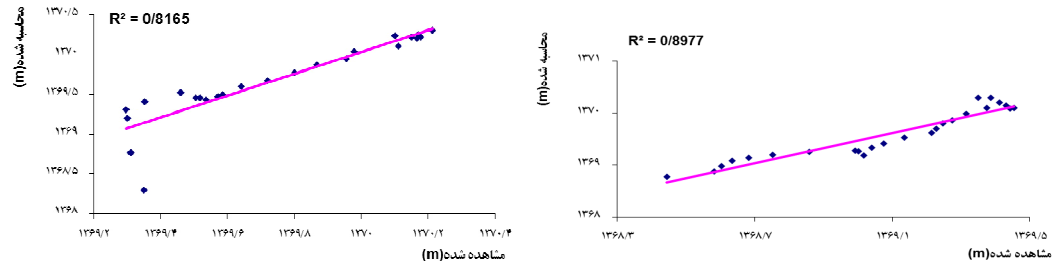
(الف) (ب)

شکل 10- مقایسه مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده به دو روش شبکه عصبی (الف) و مدل عددی (ب) در پیزومتر شماره 1



(الف) (ب)

شکل 11- مقایسه مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده به دو روش شبکه عصبی (الف) و مدل عددی (ب) در پیزومتر شماره 5



(الف) (ب)

شکل 12- مقایسه مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده به دو روش شبکه عصبی (الف) و مدل عددی (ب) در پیزومتر شماره 7

بحث و نتیجه گیری

1- نتایج حاصل از پیش‌بینی تراز سطح آب توسط شبکه عصبی مصنوعی توسط دو شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) و شبکه تابع پایه شعاعی (RBF) بررسی شده است. نتایج حاصل از تخمین سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد که دقت روش شبکه عصبی مصنوعی (MLP) نسبت به دیگر روش‌ها بیش‌تر می‌باشد. با این روش سطح آب دشت برای تمام پیزومترها تا 12 ماه از دقت مناسبی برخوردار بوده و برای برخی از پیزومترها این دقت تا 18 ماه نیز وجود دارد.

2- با توجه به استفاده از آمار یک ایستگاه هواشناسی سینوپتیک که تقریبا در قسمت‌های میانی آن واقع می‌شود، دقت پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی در پیزومترهای میانی بیش از پیزومترهای شرق و غرب دشت می‌باشد.

3- مدل عددی MODFLOW که به روش تفاضل محدود آبخوان دشت را مدل نموده است، تا دو سال می‌تواند با دقت مناسبی تراز سطح آب را پیش‌بینی کند.

4- عوامل تغذیه دشت، بارندگی سالانه، آب برگشتی از مصارف کشاورزی، صنعت و شرب می‌باشد و عوامل تخلیه دشت برداشت آب توسط چاه‌ها و قنات‌ها بوده که در نهایت افت سطح آب و بیلان منفی دشت را به همراه دارد.

5- مدل عددی بیش‌ترین حساسیت را به تغییرات هدایت هیدرولیکی از خود نشان می‌دهد.

6- مبنای تصمیم‌گیری برای کالیبره شدن مدل در هر دو مرحله ماندگار و غیرماندگار، تراز آب پیزومترها و میزان کسری مخزن می‌باشد.

7-دقت شبکه عصبی مصنوعی در بازه زمانی کوتاه‌تر (یک سال) بیش‌تر از مدل عددی می‌باشد ولی با طولانی شدن بازه زمانی (دو سال) با کاهش دقت روبرو می‌باشد.

منابع

اکبرپور،ا.، عزیزی،م.، شیرازی،م. 1389. مدیریت بهره‌برداری آب‌های زیرزمینی دشت مختاران با استفاده از مدل ریاضی تفاضل محدود در محیط GMS، مجموعه مقالات اولین همایش ملی کویر، بیرجند.

اکبرپور،ا.، قوچانیان،ا.، اعتباری،ب.1390، مدیریت آب‌های زیرزمینی با استفاده از تلفیق مدل‌های WEAP وMODFLOW، مجموعه مقالات سومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب 1390، ساری.

ایزدی،ع.ا.، داوری،ک.، علیزاده،ا.، قهرمان،ب.، حقایقی مقدم،س.ا. 1386 .پیش‌بینی سطح ایستابی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مجله آبیاری و زهکشی ایران. 1. 2: 71-59.

تسلطی، ب. 1382. برآورد سطح آب زیرزمینی با استفاده از MODFLOW و شبکه عصبی مصنوعی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس، 105 صفحه

چیت سازان،م.، ساعت ساز،م.، 1384. کاربرد مدل ریاضی MODFLOWدر بررسی گزینه های مختلف مدیریت منابع آب دشت رامهرمز. مجله علوم دانشگاه شهید چمران . 14: 15-1.

علیزاده،ا. 1380. اصول هیدرولوژی کاربردی. دانشگاه فردوسی مشهد، 815 ص.

محتشم،م.، دهقانی،ا.، اکبرپور،ا.، مفتاح هلقی،م.، اعتباری،ب. 1391. پیش‌بینی سطح ایستابی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی دشت بیرجند). مجله آبیاری و زهکشی ایران. 1. 4 :1-10.

مختاری،م. 1380.کاربرد MATLAB و SIMULINK در مهندسی، چاپ اول، ترجمه صمدی بخارایی، مرکز انتشارات خراسان.

مهدی‌زاده،م. 1383. شبکه‌های عصبی مصنوعی و کاربرد آن در مهندسی عمران. انتشارات عبادی

وزارت نیرو. 1380. نشریه شماره 337-الف، ضوابط طراحی هیدرولیکی ساختمان‌های حفاظتی و تقاطعی و ساختمان‌های حفاظت در مقابل فرسایش سامانه‌های آبیاری.

Bierkens,M.F.P. 1998. Modeling water table fluctuations by means of a stochastic differential equation. Water resoure. Resarch. 34.10:2485-2499.

Copola,j.M., Szidarovszky,F., Poulton,M and Charles,E. 2003. Artificial neural network approach for predicting transient water levels in a multi layered ground water system under variable state, pumping, and climate conditions. Journal of hydrologic enjineering. 8.6:348-360.

Coulibaly,P., Anclil,F.,Aravena,R and Brnard B. 2001. Artificial neural network modeling of water table depth fluctuations. Journal of Hydrology. 309.4: 229-240.

Nayak,P., Satyaji Rao,Y.R and Sudheer,K.P. 2006. ground water level forecasting in a shallow aquifer using artificial neural network approach. Water resources Management. 2.1: 77-99.

Wang,H.F and Anderson,P. 1988. Introduction to Groundwaret Modeling: Finite Difference and Finite Element Methods. Academic Press, San Diego. 237p.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 11, Apr.-May. 2017, p. 1-10

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره1، جلد 11، فروردین - اردیبهشت 1396، ص. 10-1

Evaluation of Artificial Neural Networks and MODFLOW Numerical Model in Forecasting Groundwater Table (Case Study: Birjand Aquifer, Southern Khorasan)

M. Mohtasham[1],A. A. Dehghani[2],A. Akbarpour[3*], M. Meftah[2]
Recived: Feb.20, 2016 Accepted: Des.19, 2016

Abstract

Groundwater has been discussed As one of the most important sources of drinking and agriculture water supply in arid and semi-arid especially. Birjand plain by being in the arid region and the use of ground water is as the only source of fresh water ahead. Predict the groundwater level fluctuations can be help in planning and future decision making, to provide long-term drinking water, agriculture and industry. The aim of this study was to compare two methods of MODFLOW numerical modeling and artificial neural network in forecasting of the Birjand aquifer groundwater table. ANN has been one of the smart ways, with the use of intrinsic, non-linear relationships between the thought and generalize the results to other modes. Numerical model receives all information about aquifer GIS layers ,which is able to predict the groundwater level in the future. GMS software uses for the numerical solution of motion equation and of the finite element and finite-difference methods. In this study, the finite difference method was used. Numerical models run for steady state, unsteady state and for three scenarios wet, normal and dry were compared. The neural network model inputs were taken from the extraction wells, the amount of input water to each polygon in terms of cubic meters (caused by area rainfall) and the water level in the piezometers, in the step before, and the model, the water level is at the current time step. The results show that using artificial neural network can be predicted with reasonable accuracy the level of underground water for up to 12 months later. Moreover, in a number of piezometers predict the level of groundwater is of sufficient accuracy to 18 months. MODFLOW numerical model predicts with more accuracy than the artificial neural network changes the water level within 24 months.

Key words: Birjand Aquifer, GIS, GMS, Ground water

1- MA, Water and Wastewater Company of Southern Khorasan
2- Associate Professor, Department of Water Engineering Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3- Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Birjand
4- Associate Professor, Department of Water Engineering Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
(* -Corresponding Author Email: Akbarpour@birjand.ac.ir)