



## بررسی عملکرد مدل مفهومی مادفلو و فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک در مدل‌سازی هیدروگراف معرف آبخوان (مطالعه موردی: دشت لور-اندیمشک)

معصومه زینعلی<sup>۱</sup>، محمدرضا گلابی<sup>۲\*</sup>، آرش آذری<sup>۳</sup>، سهیلا فرزی<sup>۴</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲- دانشجوی دکتری منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

\* نویسنده مسئول: [Hamidgolabi65@gmail.com](mailto:Hamidgolabi65@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۶

### چکیده

برای اعمال یک مدیریت صحیح نیاز به شناسایی و به مدل درآوردن سطح آب زیرزمینی در دشت‌ها جهت برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و استفاده بیشتر و بهتر از پتانسیل‌های آبی موجود در دشت‌ها، عمیقاً احساس می‌شود. در این مطالعه از اطلاعات آماری ماهانه سطح پیژومترها برای ۵ سال آبی (۸۸-۸۹ تا ۹۳-۹۲) مربوط به سطح آب ۸ پیژومتر آبخوان دشت لور-اندیمشک، استفاده شد. در ابتدا با استفاده از روش تیسن، میانگین وزنی هر پیژومتر بدست آمد و سری زمانی تراز آب زیرزمینی دشت که بیانگر هیدروگراف معرف آبخوان منطقه مورد مطالعه است، محاسبه گردید. سپس با استفاده از مدل مفهومی آب زیرزمینی مادفلو و فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک، هیدروگراف معرف آبخوان مدل‌سازی شد و نتایج با هم مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مدل مفهومی مادفلو با ضریب تبیین ۰/۷۸ در مرحله تست نسبت به فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک با ضریب تبیین ۰/۶۳ دارای عملکرد بهتری می‌باشد و می‌توان به این نتیجه رسید که در شرایط کمبود داده و اطلاعات برای مدل‌سازی نوسانات سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی (هیدروگراف معرف آبخوان) با استفاده از مدل مفهومی مادفلو می‌توان از فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده کرد و این فرامدل شبیه‌ساز توانایی مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی در سطح مدل مفهومی مادفلو تحت شرایط کمبود داده و اطلاعات، را دارد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، هیدروگراف معرف آبخوان، مدل مادفلو، فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک.

## مقدمه

با توجه به کاهش نزولات جوی و خشکسالی سال‌های اخیر و در نتیجه کمبود آب در پهنه وسیعی از کشور و افزایش میزان تقاضا برای مصارف مختلف، مدیریت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی از اهمیت و حساسیت بسیار زیادی برخوردار است. آب‌های زیرزمینی در بسیاری از کشورها از جمله ایران، یکی از منابع اصلی تأمین آب برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی می‌باشد. استفاده از این منبع همواره به عنوان گزینه‌ای در کنار آب‌های سطحی مطرح بوده است، البته در بسیاری از کشورهای خشک جهان از جمله ایران اصلی‌ترین منبع تأمین آب، ذخایر آب زیرزمینی است. لذا استفاده بهینه از منابع آب‌های زیرزمینی، مستلزم مدیریت صحیح در بهره برداری، نیازمند سواد علمی و فنی بر سیستم منابع آبی هر منطقه است. برای اعمال یک مدیریت صحیح نیاز به شناسایی، به مدل درآوردن و تخمین سطح آب زیرزمینی در دشت‌ها جهت برنامه ریزی‌های بلندمدت و استفاده بیشتر و بهتر از پتانسیل‌های آبی موجود در دشت‌ها، عمیقاً احساس می‌شود. از اساسی‌ترین موارد در مدیریت کمی منابع آب زیرزمینی تخمین سطح آب با استفاده از داده‌های برداشت شده از شبکه چاه‌های مشاهده‌ای می‌باشد (Zareie and Akhondali, 2007). در پژوهشی از مدل شبکه عصبی مصنوعی *RBF* هیبرید برای پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی دشت شاهرود استفاده شد. نتایج نشان داد هیبرید بودن شبکه باعث افزایش دقت روش نسبت به شبکه *RBF* پایه می‌شود (Akbarzadeh et al., 2016). نتایج پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی یک دشت با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و زمین آمار، نشان داد با افزایش بازه زمانی پیش‌بینی خطای مدل ترکیبی (کوکرچینگ عصبی) افزایش می‌یابد که بیشتر بدلیل افزایش خطای مدل شبکه عصبی مصنوعی با افزایش بازه زمانی پیش‌بینی می‌باشد و خطای مدل زمین آمار (کوکرچینگ) نامحسوس به نظر می‌رسد (Nadiri et al., 2016). در پژوهشی کارایی تکنیک شبکه عصبی مصنوعی و سری‌های زمانی در پیش‌بینی سطح ایستابی آب زیرزمینی بررسی شد. نتایج نشان داد هر دو

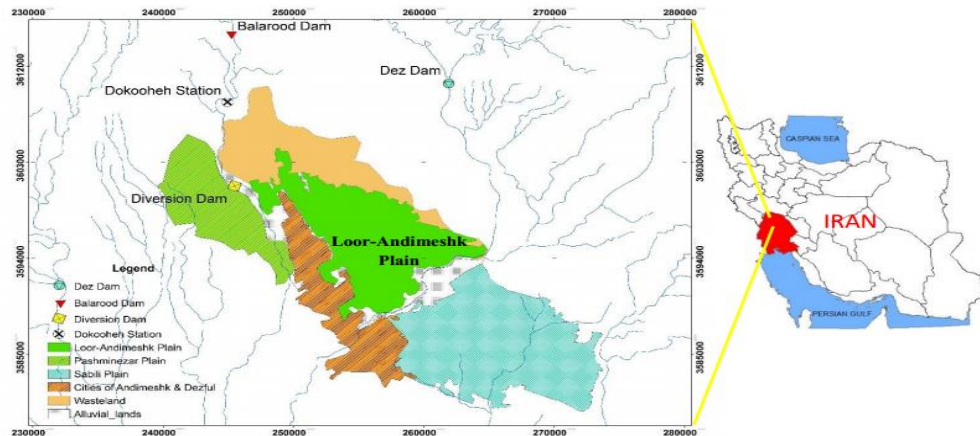
تکنیک شبکه عصبی و سری زمانی در پیش‌بینی سطح ایستابی چاه‌های منطقه دقت و کارایی خوبی دارند (Pourmahammadi et al., 2013). نتایج پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت مروست با استفاده از از مدل‌های سری زمانی و شبکه عصبی نشان داد، مدل شبکه عصبی نسبت به سری زمانی تلفیقی برتری جزئی دارد (Malekinezhad and Pourshareyati, 2013). نتایج بررسی سطح ایستابی با استفاده از روش‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان براساس سری‌های زمانی دراز مدت نشان داد که پیش‌بینی عملکرد برگشت‌پذیر مدل ماشین بردار پشتیبان برتر از مدل شبکه عصبی می‌باشد (Yoona et al., 2016). همچنین از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی در آبخوان کانیاکومری، تامیل نادو، هند نیز استفاده شده است (Stanley Raj et al., 2017). نتایج پژوهشی نیز نشان داد استفاده از شبکه‌های تقویت عصبی *WA* عملکرد بهتری برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در مقایسه با مدل‌های مبتنی بر شبکه عصبی داشته است (Barzegar et al., 2017). نتایج بررسی سطح آب زیرزمینی با استفاده از ترکیب موجک *MARS* و مدل درختی *M5* نشان داد که مدل *W-MARS* دقت بیشتری نسبت به مدل درختی *M5* در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دارد (Rezaie-balf et al., 2017). اکثر مطالعات انجام شده مربوط به پیش‌بینی در زمینه آب‌های زیرزمینی مربوط به پیش‌بینی سطح ایستابی است و کمتر به هیدروگراف معرف آبخوان توجه شده است. لذا هدف از این مطالعه در ابتدا مدل سازی هیدروگراف معرف آبخوان با استفاده از مدل مفهومی مادفلو<sup>۱</sup> و سپس مقایسه نتیجه با مدل سازی به روش فرا مدل شبیه ساز برنامه‌ریزی ژنتیک است که برای اولین بار در این مطالعه برای این هدف مورد استفاده قرار گرفته است و سوال اساسی این تحقیق این است که آیا برای مدل‌سازی هیدروگراف معرف آبخوان، در شرایط کمبود داده و اطلاعات، فرامدل شبیه ساز برنامه‌ریزی ژنتیک می‌تواند جایگزین مناسبی برای مدل مفهومی مادفلو باشد.

<sup>1</sup> MODFLOW

## مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی، دشت لور- اندیمشک، قسمتی از دشت دزفول-اندیمشک با مساحتی حدود ۲۱۴ کیلومتر مربع است که در حوضه آبریز رود دز و در شمال شهرستان اندیمشک، بین طول جغرافیایی ۴۸° ۰۹' تا ۴۸° ۴۷' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲° ۳۰' تا ۳۲° ۳۶' شمالی قرار گرفته و از جمله دشت‌های شمال جلگه خوزستان، در دامنه‌های غربی رشته کوه‌های زاگرس می‌باشد. این حوضه جزئی از بخش مرکزی شهرستان اندیمشک محسوب می‌شود و از شمال و شمال شرق به محدوده دریاچه سد دز، از شرق به شهر دزفول و رودخانه دز، از جنوب به شهر اندیمشک و از غرب و جنوب غرب به رودخانه بالارود ختم می‌شود. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. به جهت بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی، جهت جریان آب زیرزمینی،

نقاط تغذیه و تخلیه و سایر ارزیابی‌های هیدروژئولوژیکی، وجود یک شبکه پیژومتری مناسب در منطقه ضروری می‌باشد. در منطقه‌ی دشت لور - اندیمشک، ۸ حلقه پیژومتر که پراکنش نسبتاً خوبی در منطقه دارد، شبکه پیژومتری دشت را تشکیل می‌دهد. برای انجام این مطالعه با استفاده از مختصات جغرافیایی هر پیژومتر و اطلاعات آماری ماهانه مربوط به سطح ۸ پیژومتر آبخوان دشت لور-اندیمشک، برای ۵ سال آبی (۸۸-۸۹ تا ۹۳-۹۲) و با استفاده از روش تسین در محیط GIS، میانگین وزنی هر پیژومتر بدست آمد و سری زمانی تراز آب زیرزمینی دشت که بیانگر هیدروگراف معرف آبخوان منطقه مورد مطالعه است، محاسبه گردید شکل (۲). سپس با استفاده از مدل مفهومی آب زیرزمینی مادفلو و فرا مدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک هیدروگراف معرف آبخوان طی مراحل زیر مدل‌سازی شد و نتایج با هم مقایسه گردید.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1 - Location of the studied area

مرزها و محدوده سفره، جریان حاکم بر سفره، نوع تشکیلات زمین‌شناسی و نوع رژیم جریان) استفاده می‌شود و با وارد کردن داده‌های ورودی به فرمت خاص، مدل MODFLOW اجرا می‌شود که معادله حرکت جریان، به روش عددی تفاضل محدود حل می‌شود. در نهایت مدل تهیه شده کمی آبخوان را با پارامترهای ورودی واسنجی، آنالیز حساسیت و در نهایت

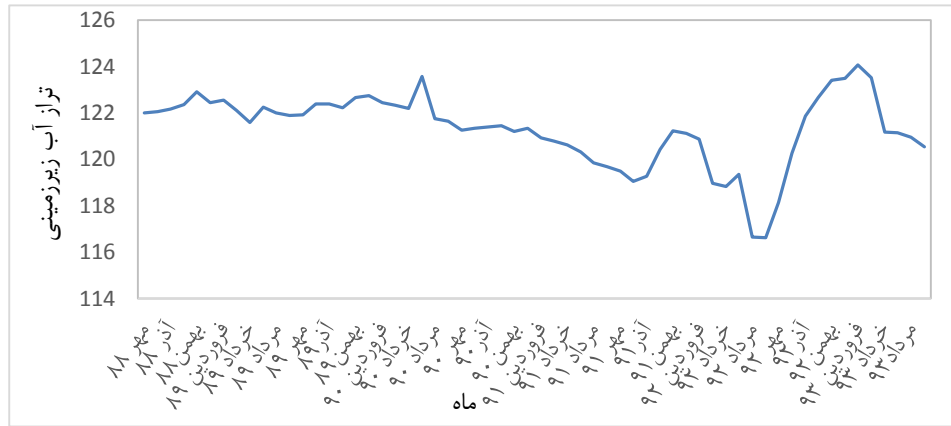
## مدل مفهومی آب زیرزمینی مادفلو

برای ارزیابی کمی آب‌های زیرزمینی از مدل MODFLOW استفاده می‌شود. MODFLOW یک ماژول سه بعدی مدل جریان آب زیرزمینی تفاضلات محدود است که توسط سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده آمریکا (USGS) تهیه شده است. در ابتدا برای تهیه مدل مفهومی از فرضیات لازم (فرم هندسی

<sup>1</sup>. United states Geological Survey

تحقیق از کد مادفلو در نرم افزار  $GMS^1$  جهت مدل سازی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است (EMRL, 2010).

صحت سنجی می شود. در این صورت می توان در پیش بینی های آینده از آن ها استفاده کرد. روند مدل سازی کمی آبخوان توسط این مدل در شکل (۳) نمایش داده شده است. در این



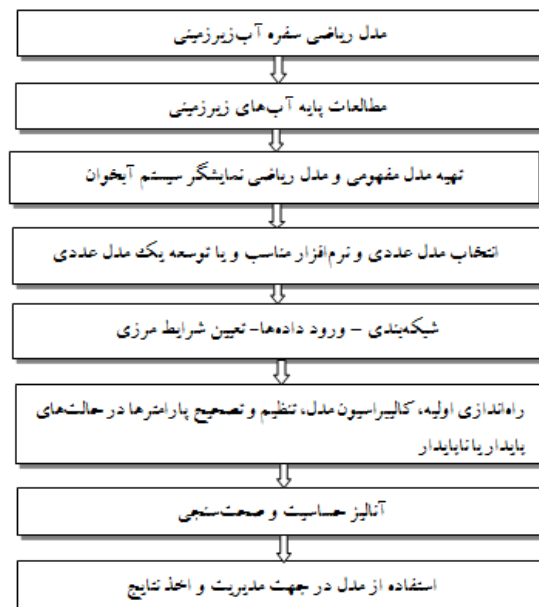
شکل ۲- هیدروگراف واحد دشت لور- اندیمشک از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۳

Figure 2- Hydrograph unit of Lour-Andimeshk plain from October 2009 to September 2014

جهت و اندازه شبکه را باید به گونه ای انتخاب کرد که در حالت افقی محور  $x$  و  $y$  آن در راستای  $Kx$  و  $Ky$  قرار گیرد و در حالت سه بعدی محور  $Z$  هم راستا با  $Kz$  باشد. در مدل های تفاضل محدود باید توجه داشت که تعداد گره هایی که در خارج از مرزهای محدوده مدل سازی قرار می گیرند، حداقل باشد. اگرچه بارهای هیدرولیکی در این گره ها که گره های غیر فعال نامیده می شوند، محاسبه نمی گردد، اما در آرایه ای که مدل از آن استفاده می کند فضایی را اشغال می کنند. مشکل گره های غیر فعال از آنجا منشاء می گیرد که شبکه تفاضلات محدود شکلی مربعی یا مستطیلی دارند، اما محدوده ای که قرار است مدل سازی شود غالباً به این اشکال نمی باشند (Anderson and Woessner, 1992).

### شرایط مرزی و اولیه

انتخاب سطح و شرایط مرزی را شاید بتوان مهم ترین گام در تهیه مدل مفهومی دانست. انتخاب سطح و شرایط مرزی نامناسب ممکن است منجر به ایجاد نقص در مدل گردد و پاسخ مدل به استرس های وارده را متفاوت از پاسخ سیستم



شکل ۳- روند مدل سازی کمی آبخوان یک منطقه انتخاب جهت و اندازه شبکه مدل

Figure 3- Modeling of a small aquifer in a region of choice of direction and network model size

<sup>1</sup>. Groundwater Modeling System

در این مرحله تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان با روش زون‌بندی بر اساس لوگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای، اکتشافی و پیزومتري و همچنین مقاطع ژئوفیزیکی تهیه شده از منطقه انجام می‌گیرد. با توجه به جنس خاک و رسوبات هر زون مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه تخمین زده می‌شود و در نهایت در مرحله کالیبراسیون برای هر زون مقدار بهینه شده هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه لحاظ می‌گردد.

### واسنجی مدل در حالت ماندگار

بعد از اینکه تمام بسته‌ها ساخته شد و اطلاعات مورد نیاز مدل تکمیل شد، مدل اجرا می‌گردد و در این مرحله از کار عملیات واسنجی مدل انجام می‌گردد و در حالت ماندگار مدل کالیبره می‌گردد. کالیبراسیون مدل از روش رگرسیون غیرخطی و با استفاده از *MODFLOW-2000* انجام گرفت. در واسنجی حالت ماندگار هدایت هیدرولیکی دشت و ضریب گذردهی مرزها بهینه می‌گردد.

### واسنجی مدل در حالت غیر ماندگار

این مرحله از کار پس از واسنجی مدل برای حالت ماندگار، انجام می‌شود و دوره‌های تنش حالت غیر ماندگار به تدریج به مدل اضافه شده و مدل در هر مرحله واسنجی می‌گردد. در حالت ماندگار بعد از کالیبره شدن مقادیر هدایت هیدرولیکی و ضریب گذردهی آسلول‌های مرزی  $GH\bar{B}$  که بهینه شدند در مدل غیر ماندگار ثابت در نظر گرفته می‌شوند و از همین مقادیر بهینه برای کالیبره کردن مدل در حالت غیر ماندگار استفاده می‌شود و مدل با استفاده از پارامترهای آبدهی ویژه و تغذیه واسنجی مجدد می‌گردد.

### صحت‌سنجی مدل

در صحت‌سنجی مدل کلیه پارامترهای دوره واسنجی ثابت می‌باشد و هدف از این کار این است که مدل استرس‌های دوره صحت‌سنجی را تخمین بزند. در واقع صحت‌سنجی

واقعی به استرس‌ها نماید (*Lu et al., 2013*). در حالت ماندگار مرزها تأثیر زیادی روی الگوی جریان آب‌های زیرزمینی دارند ولی در حالت غیرماندگار مرزها در صورتی بر روی جواب‌های مدل تأثیر خواهند گذاشت که اثر استرس‌های وارده به سیستم جریان، به مرزها برسد. هفت نوع مرز می‌توان برای مدل‌های جریان در نظر گرفت که عبارتند از: مرز بار ثابت، مرز بار مشخص، خط جریان، مرز با جریان مشخص، مرز جریان وابسته به بار هیدرولیکی، سطح آزاد و سطح تراوش.

### شرایط اولیه

توزیع بار هیدرولیکی دشت در آغاز شبیه‌سازی شرایط اولیه می‌باشد. بنابراین شرایط اولیه نوعی مرز زمانی برای سیستم مورد مطالعه است.

### تعیین سقف و کف لایه آبدار

با استفاده از مقاطع ژئوفیزیکی تهیه شده دشت و اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای که به سنگ کف برخورد کرده‌اند، نقشه ارتفاع سنگ کف تهیه می‌گردد.

### تغذیه

تغذیه دشت یکی از پارامترهای مهم در مدل آب زیرزمینی می‌باشد. برای در نظر گرفتن تغذیه در منطقه مطالعاتی از بسته تغذیه با پسوند *RCH* استفاده می‌گردد. معمولاً به دلیل ویژگی‌های مختلف خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، شدت بارندگی و شیب زمین، در نقاط مختلف میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی متفاوت می‌باشد. در مدل آب زیرزمینی از آنجا که معمولاً اطلاعات کمی از میزان تغذیه در مناطق مختلف در دسترس است، پارامتر تغذیه برای محدوده وسیعی در نظر گرفته می‌شود و در طول کالیبراسیون بهینه می‌گردد (*Azari, 2013*).

### پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان

<sup>1</sup>. Recharge

<sup>2</sup>. Conductance

<sup>3</sup>. General Head Boundary

ساختار مناسب الگو و ضرایب آن تعیین می‌شود. این روش شامل یک معادله ارتباط دهنده بین متغیرهای ورودی و خروجی بوده، لذا قادر به انتخاب خودکار متغیرهای مناسب الگو و حذف متغیرهای غیر مرتبط است که این امر سبب کاهش ابعاد متغیرهای ورودی خواهد شد. انتخاب ورودی‌های مناسب، یکی از مهم‌ترین مواردی است که بایستی در این روش مورد توجه قرار گیرد. این امر در شرایطی که از داده‌های ورودی مختلف استفاده می‌شود، از اهمیت مضاعفی برخوردار خواهد بود، چون ارائه داده‌های ورودی غیر مرتبط، سبب کاهش دقت الگو و ایجاد الگوهای پیچیده‌تری می‌شود که تفسیر آنها با دشواری‌های بیشتری مواجه است. برنامه‌ریزی ژنتیک تناوبی از راه‌حل‌های با طول ثابت را از طریق ابداع ساختارهای غیرخطی (نمودار درخت) با اندازه‌ها و اشکال متفاوت ارایه می‌کند. الفبای مورد استفاده در ایجاد چنین ساختاری متنوع‌تر از صفر و یک، افراد در الگوریتم ژنتیک است و سیستم نمایش تطبیق‌پذیر و غنی‌تری را ایجاد می‌کند. به رغم فقدان کروموزوم (ژنوم) ساده و مستقل، ساختارهای غیرخطی از افراد *GP* نیز مانند کروموزوم‌های خطی الگوریتم ژنتیک (*GA*)، تکثیرکننده‌های عادی با نقش دوگانه ژنوتیپ- فنوتیپ هستند. قابل توجه است که نمودار درختی *GP*، به مولکول‌های پروتئین در استفاده از الفبای غنی و نمایش مرتبه‌ای بی‌نظیر و پیچیده‌شان شباهت دارند. در حقیقت نمودار درختی قادر به نمایش عوامل متنوع زیادی هستند.

مشکل چنین تکثیرکننده‌های پیچیده این است که در آن‌ها تولیدمثل با اصلاحات، به شدت در ضوابط تکاملی محبوس شده است. چون به‌سازی‌ها واقعاً باید روی خود نمودار درختی رخ دهد و در نتیجه تنها دامنه محدودی از به‌سازی‌ها امکان‌پذیر است، این عملگرهای ژنتیکی *GP* در سطح درختی هستند که به‌سازی‌ها یا تبادلات شاخه‌های خاص بین درختان را اداره می‌کنند ( *Meshkani and Nazemi, 2009*). در *GP* عملگرها مستقیماً روی نمودار درختی عمل می‌کنند و اگر چه این موضوع به ظاهر دارای

فرآیندی است که طی آن اطمینان حاصل می‌شود کلیه فرآیندهایی که در ارتباط بین استرس‌های وارده و پاسخ مدل به آنها تأثیر گذارند به درستی در نظر گرفته شده است (*Bear, 2010*).

### برنامه‌ریزی ژنتیک<sup>۱</sup> (*GP*)

برنامه‌ریزی ژنتیک به عنوان پیشرفتی از الگوریتم ژنتیک و به عنوان توسعه‌ای جدید، در الگوریتم‌های تکاملی ایجاد شده است. برنامه‌ریزی ژنتیک که به طور وسیعی در کاربرد هوش مصنوعی در حل مسائل مهندسی استفاده می‌شود در سال ۱۹۸۵ توسط کرامر<sup>۲</sup>، ابداع و سپس توسط کوزا<sup>۳</sup> گسترش بیشتری یافت. برنامه‌ریزی ژنتیک از روش‌های جدید بین روش‌های الگوریتم گردشی می‌باشد که به دلیل دارا بودن دقت کافی، به عنوان یک روش کاربردی مطرح می‌شود. الگوریتم‌های گردشی اقدام به تعریف یک تابع هدف در قالب معیارهای کیفی نموده و سپس تابع هدف را برای اندازه‌گیری و مقایسه روش‌های مختلف حل کرده و در یک فرآیند گام به گام تصحیح ساختار داده‌ها به کار گرفته و در نهایت، روش حل مناسب را ارائه می‌نمایند. مبنای تمامی این روش‌ها بر اساس نظریه تکاملی داروین استوار است. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در فناوری رایانه و الگوریتم‌های جدید ریاضی، تکنیک‌های مدل‌سازی داده محور به عنوان روش‌های جدید برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی پدیده‌های مختلف طبیعی و مصنوعی توسعه یافته‌اند. این تکنیک‌ها در مدل‌سازی مورد توجه خاص محققین می‌باشند که به طور گسترده برای مدل‌سازی‌های پیچیده از آن‌ها استفاده شده است. مدل‌های داده محور مانند برنامه‌ریزی ژنتیک نیاز به شناخت جامع فیزیک فرآیند مورد مطالعه ندارند. توانایی این تکنیک‌ها برای مدل‌سازی و پیش‌بینی فرآیندهای پیچیده مختلف در منابع گوناگون مورد بررسی قرار گرفته است. در برنامه‌ریزی ژنتیک، ابتدا بلوک‌های موجود که شامل متغیرهای ورودی و هدف و نیز تابع ارتباط دهنده آن‌ها می‌باشند، تعریف گردیده و سپس

<sup>1</sup>. Genetic Programming

<sup>2</sup>. Cramer

<sup>3</sup>. Koza

<sup>4</sup>. Genetic Algorithm

(Nazemi, 2009). اگرچه کوزا عملگرهای انتخاب، تلاقی و جهش را به عنوان عملگرهای اصلی GP شرح داد، اما عملگر ترکیب، تنها عملگر مورد استفاده در بیشتر کاربردهای GP است و در نتیجه مواد ژنتیکی جدیدی در منبع ژنتیکی افراد GP وارد نمی‌شود. در حقیقت جمعیت بزرگی از نمودار درختی باید به منظور آماده‌سازی جمعیت اولیه (با تمام بلوک‌های ساختمانی لازم) استفاده شود، به طوری که راه حل‌های مناسب تنها با حرکت این بلوک‌های ساختمانی در اطراف، می‌تواند کشف شود. در آخر می‌توان گفت به سبب نقش دوگانه نمودار درختی (ژنوتیپ و فنوتیپ)، برنامه‌ریزی ژنتیک نیز همانند الگوریتم ژنتیک برای بیان ساده و اولیه ناتوان است. در همه موارد تمام نمودار درختی به عنوان راه حل است نه بیشتر و نه کمتر ( Meshkani and Nazemi, 2009). به منظور هماهنگ‌تر شدن بهتر داده‌ها و افزایش سرعت اجرای مدل، داده‌ها با استفاده از روش استانداردسازی به اعدادی بین صفر تا یک تبدیل شدند و از رابطه زیر برای نرمال‌سازی (استانداردسازی) استفاده شده است ( Golabi et al., 2013).

(۱)

$$y = 0.1 + (0.8 \times \left( \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right))$$

که در این روابط  $x$  داده مورد نظر،  $\bar{x}$  میانگین داده‌ها،  $x_{\max}$  حداکثر داده‌ها،  $x_{\min}$  حداقل داده‌ها و  $y$  داده استاندارد شده می‌باشد. در این تحقیق از ۷۰ درصد داده‌ها برای مرحله آموزش و ۳۰ درصد برای مرحله تست استفاده شده است.

#### معیارهای ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی مدل‌ها از سه معیار، ضریب تبیین ( $R^2$ )، جذرمیانگین مربعات خطا ( $RMSE$ ) و شاخص کلی عملکرد

مزایایی است، اما تکنیک GP را به مقدار زیادی محدود می‌کند (همان‌طوری که در طبیعت نیز محدودیت‌هایی برای پیوند و هرس وجود دارد).

#### اجزای تشکیل دهنده برنامه‌ریزی ژنتیک

به‌طور کلی، الگوریتم‌های ژنتیکی و به عنوان تصمیمی از آن برنامه‌ریزی ژنتیک از اجزاء زیر تشکیل می‌شوند. درخت تجزیه، جمعیت<sup>۲</sup>، تابع برازندگی<sup>۳</sup> و عملگرهای ژنتیکی. که عملگرهای ژنتیکی خود به عملگر تولید مثل، عملگر انتخاب<sup>۴</sup>، عملگر تلاقی<sup>۵</sup>، عملگر جهش<sup>۶</sup>، عملگر ترکیب<sup>۷</sup> و عملگر جایگشت<sup>۸</sup> تقسیم می‌شود.

#### ساختار کلی برنامه‌ریزی ژنتیک

ساختار کلی برنامه‌ریزی ژنتیک که در آن فرآیند گام به گام برنامه‌ریزی ژنتیک به صورت فلوچارت مشخص شده است، در شکل (۴) نشان داده شده است. شرط توقف در این مدل به دو صورت با تعداد تکرار ثابت و یا با دقت مشخص قابل تعریف می‌باشد و به صورت مراحل زیر است:

به طور خلاصه، عملگرها در برنامه‌ریزی ژنتیک بیشتر به یک ریاضیدان هوشیار شباهت دارند تا به یک روش کور طبیعی. اما در سیستم‌های انطباقی، روش کور طبیعی مؤثرتر است، چون سیستم‌هایی مانند GP در ضوابط تکاملی به شدت محدود می‌شوند. برای مثال اجرای سایر عملگرها در GP، از قبیل جهش نقطه‌ای ساده در عین حال با تکرار زیاد بی‌حاصل است. به دلیل اینکه جهش‌های بیشتر، ساختارهای نامعتبر و نادرستی را با توجه به قواعد نتیجه می‌دهد. بدیهی است که اجرای سایر عملگرها از قبیل ترانزیشن یا وارون‌سازی<sup>۹</sup> نیز مشکلات مشابهی را تولید می‌کند و فضای تحقیقی در GP به طور وسیعی کشف نشده باقی می‌ماند ( Meshkani and

1. Parse Tree

2. Population

3. Fitness Function

4. Selection Operator

5. Crossover Operator

6. Mutation Operator

7. Combination Operator

8. Permutation Operator

9. Transposition or Inversion Operator

مدل (OI) استفاده شد. در زیر روابط این معیارها ارائه شده است.

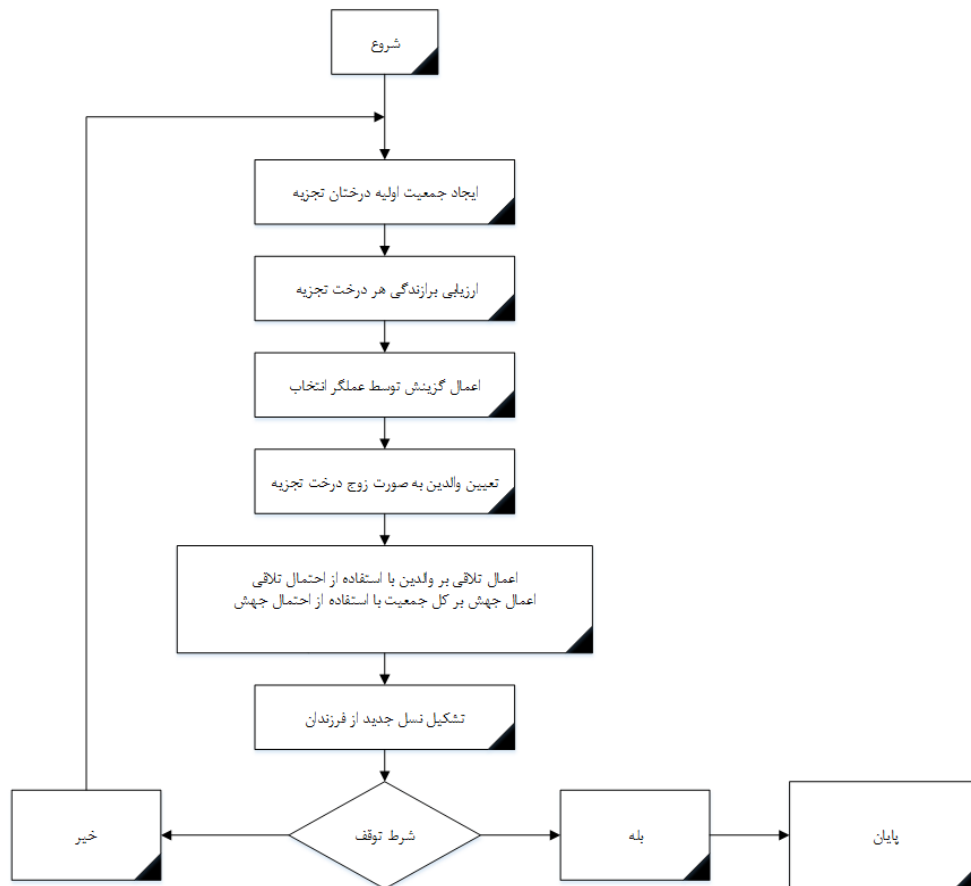
$Q_{max}$  : حداکثر داده‌ها،  $Q_{min}$  : حداقل داده‌ها می‌باشد. ضریب  $R^2$  میزان انطباق داده‌هایی که توسط مدل به وجود می‌آید و داده‌های واقعی را نشان می‌دهد.  $RMSE$  جذر میانگین مربع خطاهای داده‌های محاسباتی و مشاهداتی را بیان می‌کند. واضح است که هر چه مقدار این عدد کمتر باشد به تبع، آموزش و شبیه‌سازی داده‌ها بهتر صورت گرفته است. هر چه  $RMSE$  کمتر باشد، پیش‌بینی دقیق‌تر است.  $OI$  شاخص کلی عملکرد مدل است.  $OI$  بین مقادیر  $-\infty$  تا یک تغییر می‌کند. هر چه مقدار شاخص کلی عملکرد مدل به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده یک تناسب کامل بین مقادیر تجربی و پیش‌بینی می‌باشد (Mattar and Alamoud, 2015).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Q_{obs} - Q_{pre})^2}{n}} \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - Q_{pre})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - Q)^2} \quad (3)$$

$$OI = \frac{1}{2} \left( 2 - \frac{RMSE}{Q_{max} - Q_{min}} + \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - Q_{pre})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - Q)^2} \right) \quad (4)$$

در روابط فوق،  $n$  : تعداد داده‌ها،  $Q_{obs}$  : داده‌های مشاهداتی،  $\bar{Q}$  : میانگین داده‌های مشاهداتی،  $Q_{pre}$  : داده‌های محاسباتی،



شکل ۴- فلوجارت مدل برنامه‌ریزی ژنتیک

Figure 4 - Flowchart Genetic Programming Model



## بحث و نتایج

### مدل مفهومی MODFLOW

در این مطالعه، جهت شبکه‌بندی در راستای شمال غربی و با زاویه ۱۲<sup>o</sup> منحرف شد و ابعاد سلول‌های شبکه ۵۰۰×۵۰۰ متر در نظر گرفته شد. لذا شبکه‌بندی مدل با تعداد ۲۳۴۰ سلول (۵۲ ردیف و ۴۵ ستون) با فواصل ۵۰۰ متر ساخته شد که شامل ۸۱۶ سلول فعال و ۱۵۲۴ سلول غیر فعال بود. در این مطالعه برای شبیه‌سازی مرزهای ورودی و خروجی دشت لور- اندیمشک از بسته مرز بار عام استفاده شده است. برای تعیین شرایط اولیه با بررسی هیدروگراف واحد دشت لور- اندیمشک مشخص شد که نوسان سطح آب در سال آبی ۹۱-۱۳۸۹۰ حالت ماندگارتری نسبت به سایر سال‌ها دارد، بنابراین در مدل آب زیرزمینی ماه آذر سال ۱۳۹۰، به عنوان ماه ماندگار در نظر گرفته شد. مدل حالت ماندگار، برای دوره ماندگار آذر ۹۰ کالیبره شده و به عنوان اولین دوره تنش مدل غیرماندگار انتخاب گردید. مدل حالت ماندگار به سطح آب اولیه حساس نمی‌باشد. اما در صورتی که معادله جریان در منطقه غیرخطی باشد، ممکن است به ازای سطح آب اولیه مختلف جواب‌های مدل متفاوت باشند. به همین خاطر در این تحقیق از بسته‌های *PCG2* و *DE4* برای در نظر گرفتن این حالت استفاده شد. در این بسته‌ها متغیرهایی وجود دارد که با تنظیم آن‌ها می‌توان معادله‌های جریان غیرخطی را به درستی حل کرد. کد *MODFLOW-2000* بارهای هیدرولیکی محاسبه شده در دوره ماندگار را به عنوان سطح آب اولیه برای مدل غیرماندگار در نظر می‌گیرد. لذا بارهای هیدرولیکی محاسبه شده در هر گام زمانی، سطح آب اولیه برای گام زمانی بعدی می‌باشد و بطور هم‌زمان پارامترهای مجهول مدل تخمین زده می‌شود. در این مطالعه همچنین با استفاده از مقاطع ژئوفیزیکی تهیه شده دشت و اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای که به سنگ کف برخورد کرده‌اند نقشه ارتفاع سنگ کف دشت لور تهیه گردید. برای پارامتر تغذیه چون در مدل آب زیرزمینی معمولاً اطلاعات کمی از میزان تغذیه در مناطق مختلف در دسترس است، پارامتر تغذیه برای محدوده وسیعی در نظر گرفته شد و در طول کالیبراسیون

بهبهینه گردید. بعد از اینکه تمام بسته‌ها ساخته شد و اطلاعات مورد نیاز مدل تکمیل شد، مدل اجرا شد. اما مقادیر محاسبه شده و مشاهداتی اختلاف چشمگیری داشتند بنابراین در این مرحله از کار عملیات واسنجی مدل انجام شد و در حالت ماندگار مدل کالیبره شد. کالیبراسیون مدل از روش رگرسیون غیرخطی و با استفاده از *MODFLOW-2000* انجام گرفت. در این روش برای هر پارامتر مقادیر اولیه تخمین زده شد و با روش سعی و خطا کالیبراسیون انجام شد با این هدف که اختلاف مقادیر محاسباتی و مشاهداتی کمتر از یک متر باشد. در واسنجی حالت ماندگار هدایت هیدرولیکی دشت و ضریب گذردهی مرزها بهینه گردید. در شکل (۵) اجزای مدل عددی تهیه شده و تراز آب زیرزمینی دشت در حالت ماندگار بعد از عملیات واسنجی نشان داده شده است. در مرحله بعد، واسنجی مدل در حالت غیر ماندگار به مدت ۳/۵ سال (مهرماه سال ۸۸ تا اسفند ۹۱) انجام شد و دوره‌های تنش حالت غیر ماندگار به تدریج به مدل اضافه شده و مدل در هر مرحله واسنجی شد و در نهایت بعد از واسنجی حالت غیر ماندگار، یک سال و نیم دیگر به دوره شبیه‌سازی اضافه شد تا مدل برای این دوره ۱۸ ماهه صحت سنجی گردد. صحت سنجی مدل به مدت ۱/۵ سال و از فروردین ۹۲ تا شهریور ۹۳ انجام شد.

نتایج حاصل از بررسی مدل نشان داد که مدل مفهومی مادفلو دارای ضریب تبیین ۰/۹۱ در مرحله آموزش و ضریب تبیین ۰/۷۸ در مرحله تست و جذر میانگین مربعات خطا در مرحله آموزش ۰/۳۴ و جذر میانگین مربعات خطا در مرحله تست ۰/۴۵ بوده است. شکل (۶) مقایسه مقادیر مشاهداتی را با مقادیر برآوردی برای مدل مفهومی مادفلو در مرحله تست نشان می‌دهد. با توجه به این شکل عملکرد مدل مناسب بوده است.

### نتایج فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک

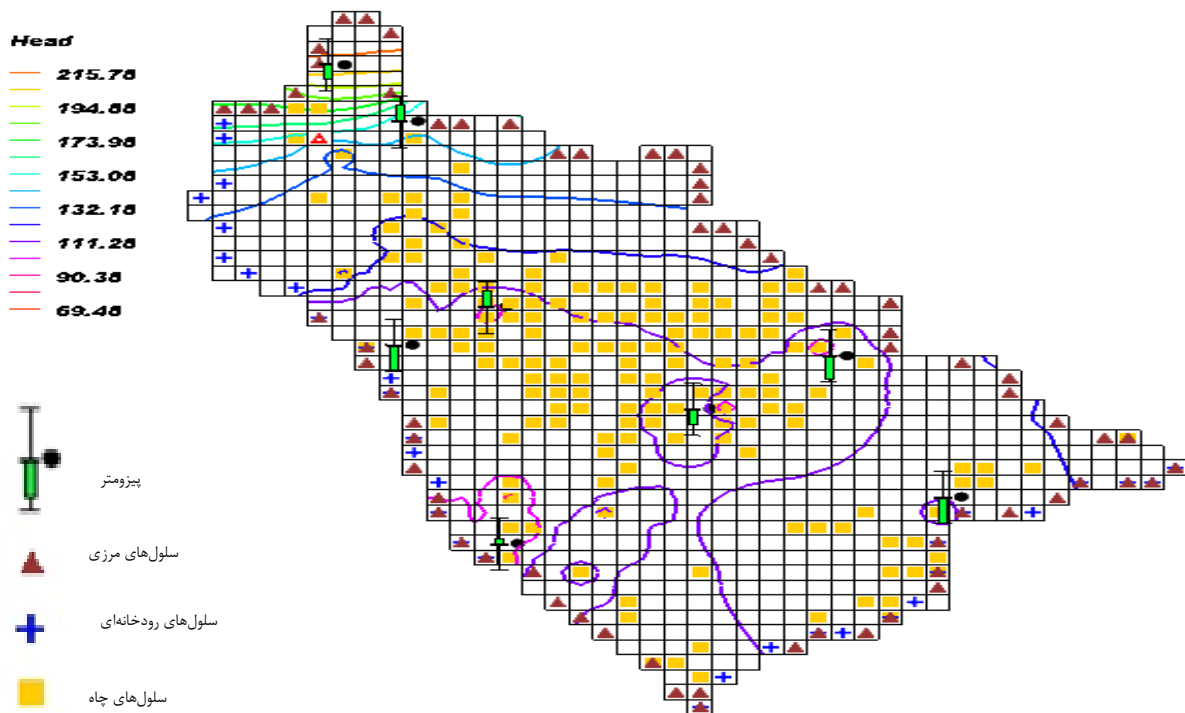
نتایج حاصل از بررسی ترکیب‌های مختلف مدل برنامه‌ریزی ژنتیک در جدول (۱) ارائه شده است. در بین این ترکیب‌ها، ترکیب شماره ۷، ۵ و ۹ به ترتیب با ۷ تأخیر زمانی و ۵ تأخیر

<sup>1</sup>. Preconditioned Conjugate-Gradient solver

<sup>2</sup>. Direct Solver

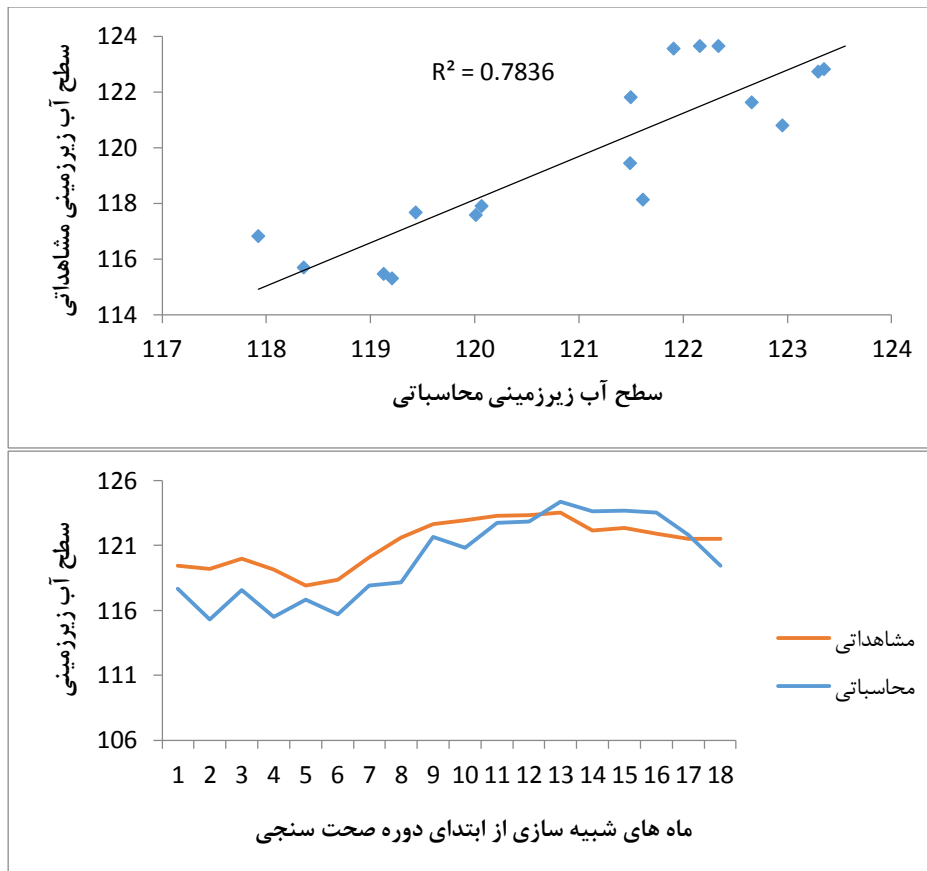
۰/۲۲ و ترکیب ۹ برابر ۰/۲۳ و ترکیب ۱۰ برابر ۰/۵۹ می‌باشد. در کل ترکیب ۵ با ۵ تأخیر زمانی، عملکرد بهتری نسبت به سایر ترکیب‌ها داشته است و بعد از آن ترکیب ۹ با افزایش تأخیر زمانی با اندکی اختلاف نسبت به ترکیب ۵ عملکرد بهتری داشته است. با توجه به نتایج ترکیب‌های مختلف می‌توان به این نتیجه رسید که تقریباً با ۵ تأخیر زمانی می‌توان به نتایج قابل قبولی در آموزش و تست فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک رسید.

زمانی و ۹ تأخیر زمانی در مرحله آموزش به ترتیب نسبت به بقیه ترکیب‌ها عملکرد بهتری داشته‌اند و ضریب تبیین آنها به ترتیب برابر ۰/۷۲ و ۰/۷۱ و ۰/۶۸ می‌باشد و همچنین جذر میانگین مربعات خطای ترکیب شماره ۷ برابر ۰/۰۶ و ترکیب ۵ برابر ۰/۰۶ و ترکیب ۹ برابر ۰/۰۶ می‌باشد. از طرفی در بین این ترکیب‌ها در مرحله تست ترکیب شماره ۵، ۹ و ۱۰ با ۵ تأخیر زمانی و ۹ تأخیر زمانی و ۱۰ تأخیر زمانی به ترتیب نسبت به بقیه ترکیب‌ها عملکرد بهتری داشته‌اند و ضریب تبیین آنها به ترتیب برابر ۰/۶۳ و ۰/۶۲ و ۰/۳ می‌باشد و همچنین جذر میانگین مربعات خطای ترکیب شماره ۵ برابر



شکل ۵- اجزای مدل عددی تهیه شده و تراز آب زیرزمینی دشت در حالت ماندگار

Figure 5 - Components of the numerical model and the groundwater level of the plain in a steady state



شکل ۶- مقایسه نتایج مدل مفهومی مادفلو با مقادیر مشاهده‌ای، مرحله تست.

Figure 6- Comparison of the results of the model with the observed values of the model, test stage.

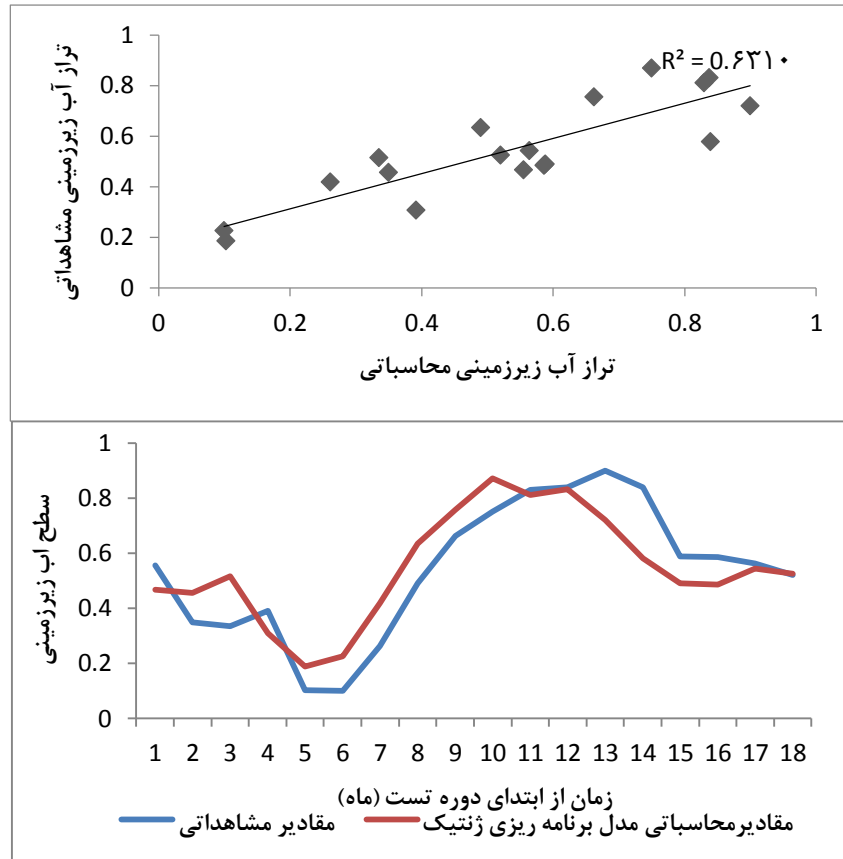
جدول ۱- بهترین ساختار مدل برنامه‌ریزی برنامه‌ریزی ژنتیک

Table 1- The best structure of the Genetic Planning Programming Model

ترکیب <i>Combination</i>	ضریب تبیین $R^2$		جذر میانگین مربعات خطا <i>RMSE</i>	
	آموزش	تست	آموزش	تست
	<i>Train</i>	<i>Test</i>	<i>Train</i>	<i>Test</i>
1	0.65	0.51	0.07	0.27
2	0.62	0.52	0.06	0.26
3	0.45	0.44	0.06	0.27
4	0.65	0.48	0.07	0.25
5	0.71	0.63	0.06	0.22
6	0.50	0.35	0.08	0.32
7	0.72	0.42	0.06	0.27
8	0.66	0.31	0.06	0.33
9	0.68	0.62	0.06	0.23
10	0.53	0.53	0.1	0.59

نشان می‌دهد. با توجه به این شکل عملکرد مدل مناسب بوده است.

شکل (۷) مقایسه مقادیر مشاهداتی با مقادیر برآوردی برای ساختار برتر فرامدل برنامه‌ریزی ژنتیک در مرحله تست را



شکل ۷- مقایسه نتایج مدل برنامه‌ریزی ژنتیک با مقادیر مشاهده‌ای، مرحله تست.

Figure 7- Comparison of the results of the model of planning of genetic planning with observational values, test stage.

مختلف در مرحله آموزش این مدل می‌باشد. ولی در مرحله تست مقدار ضریب تبیین هر دو مدل در یک سطح می‌باشد و اختلاف بسیار جزئی دارد. از طرفی با توجه به پارامتر جذر میانگین مربعات خطا، مشاهده می‌شود که مدل فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک دارای جذر میانگین مربعات خطای کمتری بوده است. بر اساس معیار  $OI$  که هرچه مقادیر به یک نزدیک‌تر باشد مدل عملکرد بهتری دارد، مشاهده می‌شود که مدل مادفلو با اختلاف کمی دارای معیار  $OI$  بیشتری نسبت به فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک بوده است و می‌توان با مشاهده مقادیر جدول به این نتیجه رسید که در شرایط کمبود داده و اطلاعات برای مدل‌سازی

#### مقایسه نتایج مدل‌های استفاده شده

در این قسمت به منظور این که مقایسه مناسبی بین عملکرد دو مدل صورت گیرد، مقایسه کمی بین دو مدل صورت گرفته است. برای مقایسه کمی بین دو مدل از سه معیار ارزیابی به نام‌های ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و شاخص کلی عملکرد مدل استفاده شد. نتایج این بررسی در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به جدول (۲) و مقایسه مدل‌های مادفلو و فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک مشاهده می‌شود که در مرحله آموزش ضریب تبیین مدل مادفلو با اختلاف کمی از ضریب تبیین فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک بیشتر می‌باشد که ناشی از ورودی‌های متعدد و داده‌های

نوسانات سطح ایستابی آبهای زیرزمینی را در سطح مدل مفهومی مادفلو دارد.

هیدروگراف معرف آبخوان با استفاده از مدل مفهومی مادفلو، فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک می‌تواند جایگزین مناسبی باشد و این فرامدل شبیه‌ساز توانایی مدل‌سازی

جدول ۲- مقایسه مدل‌های استفاده شده در این تحقیق  
Table 2- Comparison of the models used in this research

مدل <i>Model</i>	ضریب تبیین <i>R<sup>2</sup></i>		جذرمیانگین مربعات خطا <i>RMSE</i>		شاخص کلی عملکرد مدل <i>OI</i>	
	آموزش <i>Train</i>	تست <i>Test</i>	آموزش <i>Train</i>	تست <i>Test</i>	آموزش <i>Train</i>	تست <i>Test</i>
<i>MODFLOW</i>	0.91	0.78	0.34	0.45	0.92	0.83
<i>GP</i>	0.72	0.63	0.06	0.23	0.75	0.69

شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک با ضریب تبیین ۰/۶۳ با اختلاف تقریباً معنادار دارای عملکرد بهتری می‌باشد و می‌توان به این نتیجه رسید که در شرایط کمبود داده و اطلاعات برای مدل‌سازی نوسانات سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی (هیدروگراف معرف آبخوان) با استفاده از مدل مفهومی مادفلو می‌توان از فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده کرد و این فرامدل شبیه‌ساز توانایی مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی را در سطح مدل مفهومی مادفلو تحت شرایط کمبود داده و اطلاعات، را دارد.

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق از دو مدل به نام‌های مدل مفهومی مادفلو و فرامدل شبیه‌ساز برنامه‌ریزی ژنتیک جهت مدل‌سازی هیدروگراف معرف آبخوان استفاده شده است. هدف از این مطالعه نشان دادن تفاوت‌های بین دو مدل و همچنین بررسی توانایی آن‌ها برای مدل‌سازی نوسانات سطح ایستابی دشت لور- اندیمشک بوده است. نتایج نشان داد که مدل مفهومی مادفلو با ضریب تبیین ۰/۷۸ در مرحله تست نسبت به فرامدل

## منابع

- Akbarzadeh, F., Hasan pour, H., Emam gholizadeh, S., 2016. The prediction of groundwater level in Shahrood plain using artificial neural network based on radial base function. *University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari. J. Manage. Watershed.* 7(13), 104-118 [in Persian With English Summary].
- Anderson, M.P., Woessner, W.W., 1992. *Applied groundwater modeling flow and adjptive Transport.* Academic Press.
- Azari, A., 2013. *Multi-purpose simulation and optimization for integrated water resource management in surface and groundwater interaction using genetic algorithm method (Case study: Dasht Daz).* PhD Thesis,
- Chamran martyr of Ahwaz University, Iran. [in Persian with English abstract].
- Barzegar, R., Fijani, E., Asghari Moghaddama, A., Tziritis, E., 2017. Forecasting of groundwater level fluctuations using ensemble hybrid multi-wavelet neural network-based models. *Sci, Total Environ.* 599-60, 20-31.
- Bear, J., 2010. *Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport.* Springer Verlag, Vol.23, 834 P.
- Danandeh Mehr, A., Majdzadeh Tabatabai, M.R., 2010. Prediction of Daily Discharge Trend of River Flow Based on Genetic Programming. *J. water and soil.* 24(2), 325-33 [in Persian With English Summary].

- EMRL., 2010. *Groundwater Modeling System v7.1 Tutorials*. Brigham Young University: Environmental Modeling Research Laboratory.
- Golabi, M. R., Akhondali, A.M., Radmanesh, F., 2013. Comparison of the performance of different artificial neural network algorithms in seasonal rainfall modeling (Case study: Selected stations in Khuzestan province). *J. App. Geosciences Res.* 30, 151-169
- Danandeh Mehr, A., Majdzadeh Tabatabai, M.R., 2010. Prediction of Daily Discharge Trend of River Flow Based on Genetic Programming. *J. water and soil.* 24(2), 325-33[in Persian With English Summary].
- Lu, C., Chen, Y., Zhang, C., Luo, J., 2013. Steady-state freshwater–seawater mixing zone in stratified coastal aquifers. *J. Hydro.*
- M5 model tree approaches for groundwater level forecasting. *J. Hydro.* doi: <http://dx.doi.org/>.
- Malekinezhad, H., Pourshareyati, R., 2013. Application and comparison of cumulative time series model and artificial neural network model in prediction of groundwater level variation (case study: Marvast plain). *Irriga Sci & Eng (Scientific Journal of Agriculture)*. 36(3), 81-92[in Persian With English Summary].
- Mattar, M.A., Alamoud, A.I., 2015. Artificial neural networks for estimating the hydraulic performance of labyrinth-channel emitters. *Computers and Electronics in Agriculture*. 114, 189-201.
- Menhaj, M.B., 2000. Amir Kabir University of Technology Publications. 716P. [in Persian].
- Meshkani, A., Nazemi, A., 2009. *Introduction to Data mining*. Ferdowsi University of Mashhad. 456P [in Persian].
- Nadiri, A., Naderi, K., Asghari Moghadam, A., Habibi, M. H., 2016. Time and place prediction of groundwater level using artificial intelligence and ground statistics methods (case study: Aqueduct of Dashtasan plain). *Geog. J. and Plan Article.* 15(58), 15, Pages 281-301[in Persian With English Summary].
- Pourmahammadi, S., Malekinezhad, H., Pourshareyati, R., 2013. Comparison of the Efficiency of Neural Network Techniques and Time Series in Groundwater Forecasting (Case Study: Bakhtegan Subzone of Fars Province). *J. Water and Soil, Conserv.* 251-262.
- Rezaie balf, M., Naganna, S.R., Ghaemi, A., Deka, P.C., 2017. Wavelet coupled MARS and
- Singh, V.P. Translation: Najafi, M.R. 2002. *Hydrological systems for rainfall modeling. first volume*, Tehran University Press, First Edition, 578 p [in Persian].
- Stanley Raj, A., Hudson Oliver, D., Srinivas, Y., Viswanath, J., 2017. Wavelet based analysis on rainfall and water table depth forecasting using Neural Networks in Kanyakumari district. Tamil Nadu, India. *Groundwater for Sustainable Development* 5, 178–186.
- Yoona, H. Hyunb, Y. Ha, K. Leec, K. K. Kimd, G. B., 2016. A method to improve the stability and accuracy of ANN- and SVM-based time series models for long-term groundwater level predictions. *Computers and Geosciences*.
- Zareie, H., Akhondali, A. M., 2007. Comparison of ground-statistical methods and classical statistics in hydrograph drawings of groundwater unit. Research project of Khuzestan Water and Power Organization. P 71[in Persian].



***The study of the performance of the Modflow conceptual model and the genetic programming simulator meta model in the modeling of the hydrograph of the aquifer (Case Study: Lour-Andimeshk Plain)***

***Massoumeh Zeinalie<sup>1</sup>, Mohammad Reza Golabi<sup>\*2</sup>, Arash Azari<sup>3</sup>, Soheila Farzi<sup>4</sup>***

*1- Graduated Master of Water Resources, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Razi*

*2- Ph.D. Student, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Water Sciences, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.*

*3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.*

*4- Graduated Master of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.*

*\*Corresponding Author E-mail: Hamidgolabi65@gmail.com*

*Received: 06-01-2018; Accepted: 27-05-2018*

***Abstract***

*In order to apply a correct management, it is necessary to identify and model the level of groundwater in the plains for a long-term planning and more and better use of the potential of the water in the plains. In this study, the monthly statistical information of the 5 water years (2010 to 2014) related to the 8 piezometers water level of the Lour-Andimeshk plain aquifer. At first, using the Tesine method, weighted average of each piezometer was obtained and the time series of the underground water level of the plain, which represents the hydrograph of the studied area aquifer, were calculated. Then, using the the groundwater Modflow conceptual model and the genetic programming simulator meta model, the hydrograph of the aquifer was modeled and the results were compared. The results showed that the Modflow conceptual model with an explanation coefficient of 0.7836 in the test phase compared to the genetic programming simulator meta model with an explanation coefficient of 0.6310 difference has a better performance and can be concluded that the genetic programming simulator meta model can be used in the case of insufficient data and information for modelling the fluctuations of balance level of groundwater (the hydrograph of the aquifer) using the Modflow conceptual model and this simulator meta model can model groundwater as same as he Modflow conceptual model in the condition of insufficient data and information.*

***Keywords:*** *Genetic programming simulator meta model, Hydrograph of the aquifer, Modeling, Modflow model*