

## استفاده از الگوریتم ژنتیک برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی سفره آزاد

مهدی کرد<sup>۳</sup>

وحید نورانی<sup>۲</sup>

اصغر اصغری مقدم<sup>۱</sup>

(دریافت ۸۶/۵/۱۳ پذیرش ۸۷/۳/۵)

### چکیده

امروزه استفاده از روشهای بهینه‌سازی از جمله الگوریتم ژنتیک در حل مسائل پیچیده مهندسی مورد توجه مجامع علمی واقع شده است. در این تحقیق کارایی الگوریتم ژنتیک در تخمین پارامترهای هیدرولیکی سفره آزاد از داده‌های آزمایش پمپاژ، مورد ارزیابی قرار گرفته و با انجام آنالیز حساسیت آرایش بهینه‌ای برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی سفره آزاد پیشنهاد گردید. به این منظور با استفاده از الگوریتم ژنتیک پارامترهای مربوط به سه آزمایش پمپاژ، برآورد و با نتایج حاصل از روشهای گرافیکی مقایسه شد. نتایج حاصل نشان می‌دهند که در تخمین پارامترهای هیدرولیکی سفره آزاد، روش هوشمند الگوریتم ژنتیک روشی کارا و قابل اعتماد بوده و عملکرد آن در مواردی که با نقص داده‌ها مواجه هستیم بهتر از روش گرافیکی است.

**واژه‌های کلیدی:** پارامترهای هیدرولیکی سفره آزاد، آزمایش پمپاژ، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، روش گرافیکی.

## Using Genetic Algorithm to Estimate Hydraulic Parameters of Unconfined Aquifers

*Asghar Asghari Moghaddam*<sup>1</sup>

*Vahid Nourani*<sup>2</sup>

*Mehdi Kord*<sup>3</sup>

(Received Aug. 3, 2007 Accepted May 25, 2008)

### Abstract

Nowadays, optimization techniques such as Genetic Algorithms (GA) have attracted wide attention among scientists for solving complicated engineering problems. In this article, pumping test data are used to assess the efficiency of GA in estimating unconfined aquifer parameters and a sensitivity analysis is carried out to propose an optimal arrangement of GA. For this purpose, hydraulic parameters of three sets of pumping test data are calculated by GA and they are compared with the results of graphical methods. The results indicate that the GA technique is an efficient, reliable, and powerful method for estimating the hydraulic parameters of unconfined aquifer and, further, that in cases of deficiency in pumping test data, it has a better performance than graphical methods.

**Keywords:** Hydraulic parameters, unconfined aquifer, Pumping test, Optimization, Genetic Algorithm, Graphical method.

1. Assoc. Prof., Geology Dept., University of Tabriz,  
(Corresponding Author) (+98 411) 3392731, Moghaddam@tabrizu.ac.ir  
2. Assist. Prof., Civil Engineering Dept., University of Tabriz  
3. MSc. Student, Geology Dept., University of Tabriz

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تبریز، (نویسنده مسئول)  
Moghaddam@tabrizu.ac.ir (۰۴۱۱) ۳۳۹۲۷۳۱  
۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز  
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه تبریز

## ۱- مقدمه

و تغذیه سفره به کار بردند [۹]. ساموئل<sup>۱۱</sup> و جه<sup>۱۲</sup> با استفاده از GA علاوه بر پارامترهای هیدرولیکی سفره‌های تحت فشار و نشتی، پارامترهای هیدرولیکی سفره آزاد را به وسیله مدل تیس<sup>۱۳</sup> اصلاح شده محاسبه کردند [۱۰].

نگاهی به تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که تحقیق جامعی در مورد تخمین پارامترهای سفره‌های آزاد به وسیله تکنیک GA، با استفاده از مدل نیومن انجام نشده است. GA یک روش متعارف و خوب برای بهینه‌سازی معادلات شدیداً غیر خطی و پیچیده است [۱۱]. برتری ویژه GA، غیر حساس بودن به حدسهای اولیه پارامترها برای بهینه‌سازی است [۱۲]. لذا در این مقاله کارایی GA برای تخمین پارامترهای آبخوان آزاد از طریق داده‌های آزمایش پمپاژ زمان-افت<sup>۱۴</sup> با استفاده از مدل نیومن آزمایش می‌شود.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- مدل ریاضی نیومن

مدل ریاضی نیومن پرکاربردترین مدل ریاضی برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی سفره آزاد است که توسط روابط ۱، ۲ و ۳ مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۳]

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u, \beta) \quad (1)$$

$$u = \frac{r^2 S_c}{4Tt} \quad (S_c = S_y \text{ or } S) \quad (2)$$

$$\beta = Tr^2 / b^2 \quad (3)$$

که در آنها

s افت، t زمان پمپاژ، r فاصله از چاه پمپاژ، Q نرخ پمپاژ، T قابلیت انتقال، u، W و  $\beta$  متغیر تئوریک بی بعد، S ضریب ذخیره،  $S_y$  آبدهی ویژه<sup>۱۵</sup> و b ضخامت اشباع اولیه سفره باشد [۱۴]. نیومن با حل رابطه ۱، منحنی پایه‌ای<sup>۱۶</sup> را برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی سفره آزاد به صورت گرافیکی ارائه کرد. منحنی پایه شامل دو خانواده از منحنی‌های مجانب است که به صورت منحنی A و B شناخته می‌شوند. برای به دست آوردن پارامترهای هیدرولیکی، منحنی A با قسمت اول و منحنی B با داده‌های پایانی افت به کار برده می‌شوند. ضریب ذخیره از قسمت اول، آبدهی ویژه، از قسمت سوم و قابلیت انتقال از هر دو قسمت منحنی زمان-افت محاسبه می‌شود. در این تحقیق سعی شد با استفاده از GA و با به کارگیری داده‌های آزمایش پمپاژ به عنوان

در طی یک قرن گذشته تلاشهای زیادی در راستای تکنیک‌های شبیه‌سازی و آنالیز مسائل جریان آب صورت گرفته است. امروزه اغلب مسائل کم و بیش پیچیده می‌توانند توسط به‌کارگیری مدل‌ها و روشهای ریاضی بسط داده شده و حل شوند که صحت نتایج به دست آمده از آنها شدیداً به درستی مقادیر عددی پارامترهای هیدرولیکی لایه‌های آبدار بستگی دارد [۱]. به عبارتی می‌توان از پارامترهای هیدرولیکی لایه‌های آبدار به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین فاکتورهای لازم مدیریت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی نام برد. روشهای متفاوتی برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی سفره‌ها وجود دارد. یکی از روشهای استاندارد، به‌منظور تعیین آنها استفاده از داده‌های آزمایش‌های پمپاژ است. این پارامترها با توجه به نوع سفره، داده‌های قابل دسترس، نوع جریان و با فرضیات لازم به روشهای تحلیلی و عددی مختلف محاسبه می‌شوند. اساسی‌ترین روش برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ از سفره آزاد به روش تحلیلی، توسط بولتون<sup>۱</sup> ارائه شد و سپس توسط نیومن<sup>۲</sup> توسعه پیدا کرد. این روش که کاربرد بیشتری دارد، بر اساس مفهوم آبدهی تأخیری استوار است [۲]. در این روش انطباق داده‌ها به منحنی تیپ، اغلب تقریبی بوده و انطباق کامل به دلیل اختلاف زیاد بین فرضیات در نظر گرفته شده در تئوری و شرایط واقعی، میسر نیست. به‌علاوه روشهای گرافیکی پرزحمت، زمان‌بر و سلیقه‌ای هستند.

مسئله تخمین پارامترهای سفره با کمک مدل عددی که با استفاده از اطلاعات اولیه و مشاهداتی عمل می‌کند، اغلب به صورت مسئله معکوس<sup>۳</sup> انجام می‌گیرد. تکنیک مسئله معکوس در آب زیرزمینی برای پیش‌بینی ضریب ذخیره (S) و قابلیت انتقال (T) و همچنین پارامترهای انتقال آلودگی به کار برده می‌شود. کولی<sup>۴</sup>، یه<sup>۵</sup>، کاررا<sup>۶</sup> و نیومن، سون<sup>۷</sup> و عباسپور و همکاران از جمله افرادی هستند که در این زمینه فعالیت داشته‌اند [۳-۸].

مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در زمینه کاربرد الگوریتم ژنتیک<sup>۸</sup> در آب زیرزمینی به شرح زیر است:

پراساد<sup>۹</sup> و راستوگی<sup>۱۰</sup> ترکیب GA با مدل اجزای محدود شبیه‌سازی جریان را برای تخمین هدایت هیدرولیکی (K)، قابلیت انتقال (T)

1 Boulton  
2 Neuman  
3 Inverse problem  
4 Cooley  
5 Yeh  
6 Carrera  
7 Sun  
8 Genetic Algorithm (GA)  
9 Prasad  
10 Rastogi

11 Samuel  
12 Jha  
13 Theis  
14 Time-Drawdown Data  
15 Specific Yield  
16 Type Curve

### ۲-۳- فرمول بندی تابع هدف

تابع هدف، تابعی است که قصد کمینه کردن آن را داریم. اگر افت مشاهداتی را در پیرومتری به فاصله  $r$  از چاه پمپاژ و زمان  $t$  نسبت به شروع پمپاژ با  $so$  نشان دهیم و  $sc$  افت محاسباتی با استفاده از مدل ریاضی نیومن در همان فاصله و زمان باشد. تابع خطا را می توان به صورت رابطه ۴ نمایش داد

$$E = so - sc \quad (4)$$

برای افتهای مختلف در فاصله های زمانی مختلف می توان مجموع مربعات خطا<sup>۵</sup> را با رابطه ۵ محاسبه کرد

$$SSE = \sum_{k=1}^n (so_k - sc_k)^2 \quad (5)$$

که در آن

$n$  تعداد افتهای مشاهداتی است.

حال می توان رابطه ۵ را به عنوان تابع هدف، کمینه کرد. برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی به صورت عددی، الگوریتم، در ابتدا داده های زمان-افت را از قسمت هموار نمودار به دو نیم تقسیم می کند. سپس، با وجود مقادیر معلوم  $Q, t, r, so$  و با استفاده از حدسهای اولیه  $(T, S)$  و  $(T, S_y)$  تابع خطا را به ترتیب برای قسمت اول و داده های پایانی زمان-افت تشکیل می دهد. مجموع این دو تابع خطا، تابع هدف را ایجاد کرده و در نهایت با کمینه کردن آن، پارامترهای  $S, S_y$  و  $T$  تخمین زده خواهند شد. از آنجا که به ازای  $\beta$  های مختلف جوابهای متفاوتی خواهیم داشت، لذا تابع هدف به ازای مقادیر مختلف  $\beta = 0, 0.001, 0.004, \dots, 3.0$  بهینه شده و در نهایت از میان برازشهای به دست آمده برای هر یک از  $\beta$  ها بهترین برازش تعیین و مقادیر پارامترهای  $T, S, S_y$  متناسب با آن معین خواهد گردید. فلوجارت محاسبه تابع هدف در شکل ۲ نمایش داده شده است.

### ۲-۴- منطقه مطالعاتی

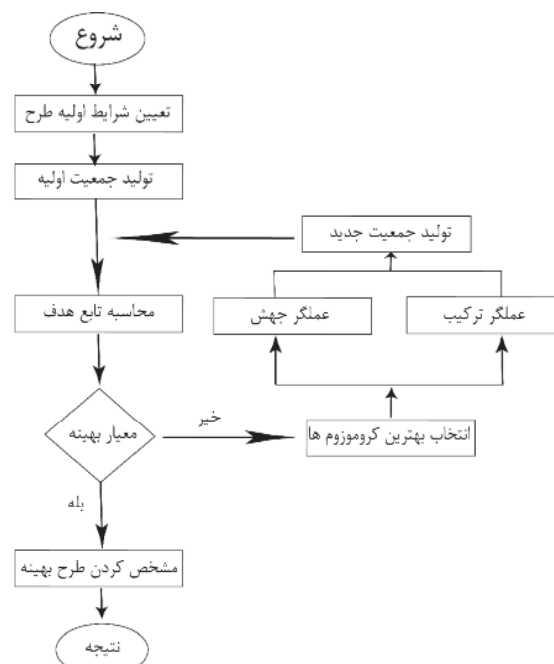
داده های به کار گرفته شده، داده های زمان-افت آزمایش پمپاژ با نرخ ثابت، مربوط به محدوده مطالعاتی سعید آباد است. این محدوده مطالعاتی در جنوب شرقی شهر تبریز و در حدود ۲ کیلومتری روستای سعید آباد واقع شده است. چاههای مشاهده ای مورد استفاده تحت عنوان  $swp1, swp3, swp7$  هستند که در فاصله ۵۰ متر از چاههای پمپاژ قرار گرفته اند [۱۷].

داده های مشاهداتی، پارامترهای  $S, T, S_y$ ، که در مدل نیومن مورد استفاده قرار می گیرد، تخمین زده شود.

### ۲-۲- الگوریتم ژنتیک

GA شاخه ای از هوش مصنوعی است که در سال ۱۹۷۵ توسط هالند<sup>۱</sup> و دانشجویانش، بر اساس تئوری تکامل معرفی گردید [۱۵]. اساس کار الگوریتم های ژنتیک به این صورت است که در ابتدا مجموعه ای تصادفی از رشته ها برای رسیدن به نقطه بهینه، مقدار دهی می شوند و سپس مقدار تابع هدف<sup>۲</sup> که معیاری برای سنجش کارایی و تطبیق رشته است، محاسبه می شود. حال اگر معیار رسیدن به حالت بهینه برآورده نشده باشد، تولید نسل جدید آغاز می گردد [۱۶].

از نسل دوم به بعد پس از ایجاد فرزندان (نخبه، ترکیبی و جهش یافته) با نسبت های تعریف شده و معین، با استفاده از الگوریتم های انتخاب<sup>۳</sup> والدین نسل جدید گزینش و با قرار دادن این فرزندان در تابع هدف و امتیاز دهی به آنها، الگوریتم تکرار می شود تا وقتی که معیارهای پایان الگوریتم باعث توقف آن شود. در این تحقیق برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی توسط GA از کد کامپیوتری که در محیط نرم افزار مطلب<sup>۴</sup> توسط مؤلفین تهیه شده، استفاده گردید. شکل ۱ فلوجارت عملکرد GA را نشان می دهد.



شکل ۱- فلوجارت عمومی الگوریتم ژنتیک

<sup>1</sup> Holland  
<sup>2</sup> Objective Function  
<sup>3</sup> Selection  
<sup>4</sup> MATLAB 2006

<sup>5</sup> Sum of Square Errors (SSE)

تغییرات تجمعی مقادیر برازشها بر روی تعداد ۵۰ نسل کمتر از ۱۰<sup>-۶</sup> باشد و یا به عبارت دیگر عدم بهبود در میزان تابع هدف در طی ۵۰ نسل، سبب خاتمه الگوریتم خواهد شد

$$GASC = \frac{\sum_{k=1}^n (fitness_{k-1} - fitness_k)}{50} \quad N \geq n \geq 50 \quad (۶)$$

که در آن

GASC شاخص خاتمه الگوریتم ژنتیک<sup>۱۳</sup>، N حداکثر نسلهای در نظر گرفته شده، n شماره هریک از نسلهای تولید شده بعد از پنجاهمین نسل و fitness<sub>k</sub> برازش نسل k ام است.

برای به دست آوردن کسر تولید فرزندان ترکیبی، یعنی بهترین نسبت فرزندان حاصل از ترکیب به دیگر فرزندان، الگوریتم برای نسبت‌های مختلف از ۰ تا ۱ اجرا شد و با توجه به مقدار میانگین برازشها، بهترین نسبت تعیین گردید. استفاده از اندازه جمعیت بزرگ‌تر، فضای جستجو را بهتر پوشش می‌دهد و به موجب آن شانس پیدا کردن نقطه مینیمم کلی، افزایش پیدا می‌کند ولی در عوض این امر سبب اجرای کند GA خواهد شد. لذا انتخاب اندازه جمعیتی که هم فضای جستجو را خوب پوشش دهد و هم اینکه الگوریتم دارای سرعت قابل قبولی باشد، برای تخمین پارامترها امری ضروری است. به این منظور الگوریتم به ازای اندازه جمعیت‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ تایی برای تعیین بهترین اندازه جمعیت اجرا شد. همچنین برای انتخاب تعداد نسلها، الگوریتم به ازای تعداد نسلهای ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ تایی اجرا گردید.

### ۲-۳- آرایش بهینه GA

به‌طور خلاصه با توجه به نتایج قسمت قبل، می‌توان آرایشی بهینه از عملگرهای اختیار شده را به دست آورد. در جدول ۱ آرایش بهینه به کار برده شده برای چاههای فوق‌الذکر نشان داده شده است.

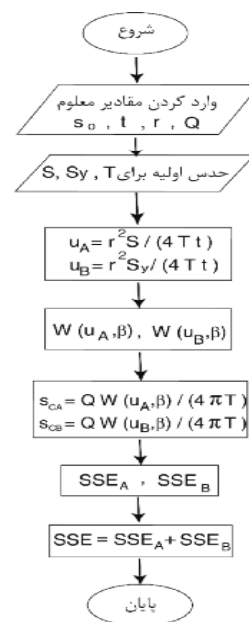
جدول ۱- آرایش بهینه الگوریتم ژنتیک به کار گرفته شده برای

گزینه‌ها	آرایش بهینه
بازه تولید جمعیت اولیه <sup>۱۴</sup>	[۱ ; ۰]
اندازه جمعیت	۵۰
تعداد نخه	۷
کسر تولید فرزندان ترکیبی	۰/۵
تعداد نسل	۱۰۰
شاخص برازش	روش رتبه‌بندی <sup>۱۵</sup>
انتخاب	ریمایندر
ترکیب	حسابی
جهد	اداپتفیسبل

<sup>13</sup> Genetic Algorithm Stopping Criteria

<sup>14</sup> Initial Range

<sup>15</sup> Rank



شکل ۲- فلوچارت محاسبه تابع هدف

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- آنالیز حساسیت

اجرای موفق GA به گزینه‌های آن مانند اندازه جمعیت، ترکیب، جهش، تعداد نسلها، نحوه انتخاب، نسبت بین تولید فرزندان و غیره بستگی دارد. به این منظور از آنالیز حساسیت برای تعیین آرایش بهینه GA استفاده شد.

وظیفه‌گزینه‌ها برای تولید جمعیتی جدید را عملگر انتخاب به عهده دارد. در آنالیز صورت گرفته از پنج عملگر انتخاب به شرح زیر استفاده شد.

چرخ رولت<sup>۱</sup>، روش رقابتی<sup>۲</sup>، ریمایندر<sup>۳</sup>، یونیفرم<sup>۴</sup>، استوکستیک یونیفرم<sup>۵</sup> و حالت‌های ترکیبی ممکن از ۴ عملگر ترکیب به نام دو نقطه‌ای<sup>۶</sup>، اسکترد<sup>۷</sup>، اینترمدیت<sup>۸</sup> و حسابی<sup>۹</sup> به همراه دو عملگر جهش به نام‌های یونیفرم و اداپتفیسبل<sup>۱۰</sup> استفاده شد [۱۸].

علاوه بر موارد فوق، آنالیز حساسیت برای تعیین بهینه‌ترین اندازه جمعیت<sup>۱۱</sup>، تعداد نسل و کسر تولید فرزندان ترکیبی<sup>۱۲</sup> انجام شد. شاخص خاتمه الگوریتم در نظر گرفته شده، با استفاده از رابطه ۶ تعیین گردید. در اینجا الگوریتم تا زمانی اجرا خواهد شد که

<sup>1</sup> Roulette (Ro)

<sup>2</sup> Tournament (To)

<sup>3</sup> Remainder (Re)

<sup>4</sup> Uniform (Un)

<sup>5</sup> Stochastic Uniform (S.U)

<sup>6</sup> Twopoint (Tw)

<sup>7</sup> Scattered (Sc)

<sup>8</sup> Intermediate (In)

<sup>9</sup> Arithmetic (Ar)

<sup>10</sup> Adaptfeasible

<sup>11</sup> Population Size

<sup>12</sup> Crossover Fraction

### ۳-۳- تخمین پارامترها توسط GA

به منظور سنجش کارایی تکنیک GA، پارامترهای هیدرولیکی سفره آزاد از داده‌های آزمایش پمپاژ زمان-افت، توسط نرم افزار معروف آکیفر تست<sup>۱</sup> که بر مبنای روش است، محاسبه گردید و با

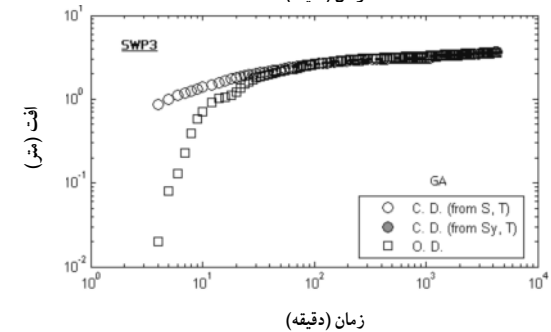
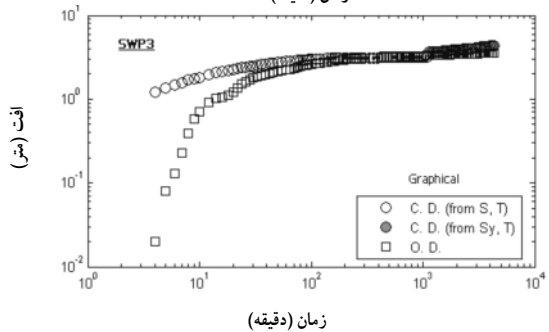
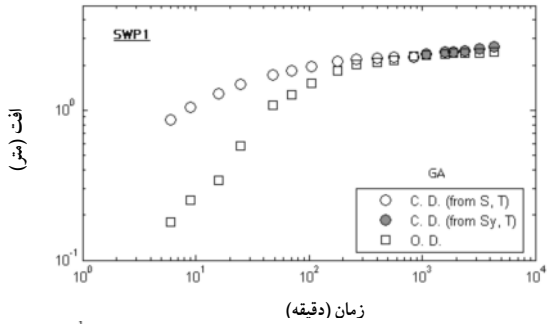
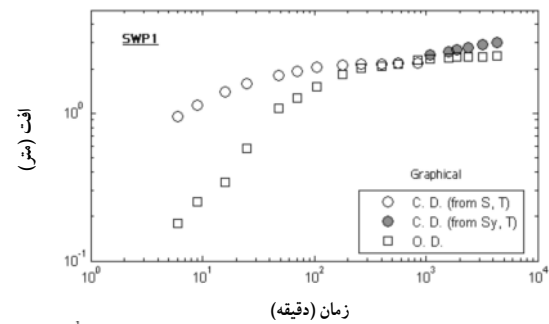
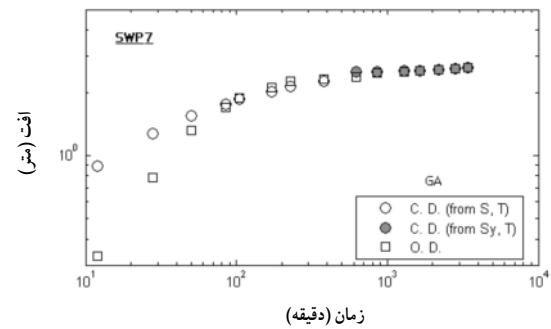
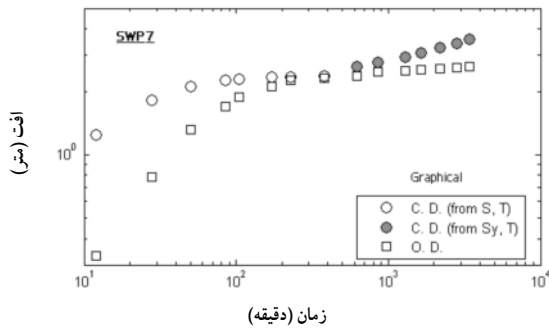
نتایج حاصل از GA مقایسه شد. مقادیر محاسباتی ضرایب هیدرولیکی، SSE و R<sup>2</sup> (ضریب تبیین<sup>۲</sup>)، حاصل از هر دو روش در جدول ۲ نشان داده شده است [۱۹].

<sup>2</sup> Determination Coefficient

<sup>1</sup> Aquifer Test

جدول ۲- مقادیر محاسباتی S, S<sub>y</sub>, T و SSE و R<sup>2</sup> سفره آزاد

swp3		swp1		swp7		Data Set
GA	گرافیکی	GA	گرافیکی	GA	گرافیکی	روش
۰/۰۰۳	۱/۸۷×۱۰ <sup>-۲</sup>	۰/۰۰۳	۲/۸۳×۱۰ <sup>-۲</sup>	۰/۰۰۳	۲/۰۸×۱۰ <sup>-۲</sup>	S
۰/۱۰۵۵	۷/۴۵×۱۰ <sup>-۲</sup>	۰/۱۳۲	۸/۹۵×۱۰ <sup>-۲</sup>	۰/۱۵۴۱	۰/۱۳۱	S <sub>y</sub>
۰/۶۳۲۹	۰/۵۰۴	۰/۷۵	۰/۶۲۸	۰/۳۳۲۱	۰/۱۵۶	T(m <sup>2</sup> /min)
۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۶	β
۸/۳۷۳۷	۲۵/۷۶۱۶	۳/۹۱۶۹	۴/۹۱۶۹	۰/۶۳۹	۳/۰۶۸	SSE <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )
۰/۰۵۷۴	۹/۳۰۷۶	۰/۰۷۱۲	۰/۸۵۷۶	۰/۱۶۲	۲/۴۳۳۳	SSE <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )
۸/۴۳۱۱	۳۵/۰۶۹۲	۳/۹۸۷۴	۵/۷۷۴۵	۰/۸۰۱	۵/۵۰۱۳	SSE <sub>t</sub> (m <sup>2</sup> )
۰/۹۸۲۱	۰/۹۴۵۱	۰/۸۴۳۱	۰/۸۰۳	۰/۹۶۹۵	۰/۸۵۳۴	R <sup>2</sup> <sub>1</sub>
۰/۹۹۹۹	۰/۹۷۷	۰/۹۹۷۵	۰/۹۷۰۳	۰/۹۹۹۶	۰/۹۳۷۱	R <sup>2</sup> <sub>2</sub>
۰/۹۸۸۷	۰/۹۵۲۸	۰/۹۲۲۷	۰/۸۸۸۰	۰/۹۸۸۶	۰/۹۰۴۴	R <sup>2</sup> <sub>t</sub>



شکل ۳- منحنی‌های زمان-افت صحرایی (O. D) و منحنی‌های زمان-افت محاسبه شده (C. D).

باروشهای گرافیکی و GA برای چاههای swp1، swp3 و swp7

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از مجموعه داده‌های آزمایش پمپاژ زمان-افت برای سفره آزاد توسط GA و مقایسه آن با نتایج روش گرافیکی نشان می‌دهد که تکنیک هوشمند GA یک روش کارا، قابل اعتماد و قوی برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی سفره آزاد است.

آنچه که از مقایسه منحنی‌های افت-زمان داده‌های آزمایش پمپاژ مشاهده می‌شود، این است که منحنی‌های زمان-افت مربوط به GA نسبت به روش گرافیکی، تطابق بیشتری با منحنی‌های زمان-افت مشاهداتی برای هر سه چاه دارند و دارای SSE و  $R^2$  بهتری هستند.

همان‌طور که در منحنی‌های افت-زمان مربوطه مشاهده می‌شود، آماربرداری چاههای 1 و 7 به طور کامل صورت نگرفته و قسمت سوم گراف آنها ناقص است. اما از مقایسه منحنی‌های زمان-افت مشاهداتی و محاسباتی داده‌های آزمایش پمپاژ، همچنین SSE و  $R^2$  مربوط به آنها، مشاهده می‌شود که GA در مواردی که با نقص داده‌ها مواجه هستیم نسبت به روش گرافیکی عملکرد بهتری دارد.

عملکرد موفق GA به آرایش مختلف گزینه‌های آن بستگی دارد و با توجه به اینکه تغییرات بسیار جزئی در مقدار پارامترهای تخمینی سفره، نتایج بسیار متفاوتی را ایجاد خواهد کرد، لذا انجام آنالیز حساسیت برای استفاده از GA لازم و ضروری است. با توجه به پیچیدگی مدل نیومن، اجرای برنامه بسیار کند است، بنابراین برای برطرف نمودن این مشکل می‌توان از زبان‌های برنامه نویسی دیگری مثل C بهره گرفت و به جای استفاده از آنالیز حساسیت عملکرد عملگرهای مختلف GA، روشهای دیگر بهینه‌سازی مانند منطق فازی را به کار برد.

داده‌های زمان-افت اولیه برای تخمین S و T و داده‌های زمان-افت پایانی پمپاژ برای تخمین  $S_y$  و T استفاده شده‌اند. لذا  $SSE_1$  و  $R^2_1$  مربوط به قسمت اول داده‌های زمان-افت و  $SSE_2$  و  $R^2_2$  مربوط به داده‌های پایانی زمان-افت محاسباتی نسبت به مشاهداتی می‌باشند.

$R^2_1$  ضریب تبیین کل محاسبه شده و  $SSE_1$  مجموع  $SSE_1$  و  $SSE_2$  و یا به عبارتی مجموع مربعات خطا کل برای هر یک از مجموعه داده‌های زمان-افت است.

#### ۳-۴- افتهای مشاهداتی و محاسباتی

برای درک بهتر عملکرد روش GA و مقایسه نتایج حاصل از آن با روش گرافیکی، افتهای محاسباتی حاصل از پارامترهای تخمینی و افتهای مشاهداتی متناظر با آنها رسم گردید. در این قسمت با یک عملکرد معکوس با استفاده از پارامترهای محاسباتی، افتهای هر یک از چاهها در زمان‌های متناظر پمپاژ، محاسبه شد و با افتهای مشاهداتی مقایسه گردید.

شکل ۳ مقایسه بین منحنی‌های زمان-افت مشاهداتی<sup>۱</sup> و محاسباتی<sup>۲</sup> حاصل از پارامترهای تخمین زده شده به وسیله روشهای گرافیکی و GA را نشان می‌دهد.

افتهای محاسبه شده از مدل نیومن به وسیله GA و روش گرافیکی، در زمان‌های اولیه پمپاژ بر افتهای صحرائی منطبق نیست. دلیل آن را این‌گونه می‌توان بیان نمود که مدل ریاضی نیومن بر اساس یک سری فرضیات و با در نظر گرفتن شرایط ایدئال ارائه گردیده است، اما در شرایط عملی تمامی شرایط و مفروضات مدل نیومن نمی‌تواند فراهم باشد. دقت اندازه‌گیری افتهای صحرائی نیز دلیل دیگری برای این اختلاف است.

<sup>1</sup> Observed Drawdown (O. D.)

<sup>2</sup> Computed Drawdown (C. D.)

#### ۵- مراجع

- 1- Kruseman, G. P., and De Ridder, N. A. (1983). *Analysis and evaluation of pumping test data*, 1<sup>st</sup> Ed., ILRI Wageningen, Netherlands.
- 2- Batu, V. (1998). *Aquifer hydraulics a comprehensive guide to hydrogeologic data analysis*, 1<sup>st</sup> Ed., John Wiley and Sons Inc, New York. USA.
- 3- Cooley, R. L. (1977). "A method of estimating parameters and assessing reliability for models of steady state groundwater flow 1. Theory and numerical properties." *Water Resou. Res.*, 13(2), 318-324.
- 4- Yeh, W. W. (1986). "Review of parameter identification procedures in groundwater hydrology: The inverse problem." *Water Resour. Res.*, 22(2), 95-108.
- 5- Carrera, J., and Neuman, S. P. (1986a). "Estimation of aquifer parameters under transient and

- steady state conditions: 1. Maximum likelihood method incorporating prior information.” *Water Resour. Res.*, 22(2), 199-210.
- 6- Carrera, J., and Neuman, S. P. (1986b). “Estimation of aquifer parameters under transient and steady state conditions: 2. Uniqueness, stability and solution algorithms.” *Water Resour. Res.*, 22(2), 211-227.
- 7- Sun, N. Z. (1994). *Inverse problems in groundwater modeling*, 1<sup>st</sup> Ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- 8- Abbaspour, K. C., Van Genuchten, M. T., Schulin, R., and Schlappi, E. (1997), “A sequential uncertainty domain inverse procedure for estimating subsurface flow and transport parameters.” *Water Resour. Res.*, 33(8), 1879-1892.
- 9- Prasad, K. L., and Rastogi, A. K. (2001). “Estimating net aquifer recharge and zonal hydraulic conductivity values for Mahi Right Bank Canal project area, India by genetic algorithm.” *J. Hydrol.*, 243, 149-161.
- 10- Samuel, M. P., and Jha, M. K. (2003). “Estimation of aquifer parameters from pumping test data by genetic algorithm optimization technique.” *J. of Irrigate Engineering*, 129(5), 359-359.
- 11- Davis, L. (1991). *A handbook of genetic algorithms*, 1<sup>st</sup> Ed., Van Nostrand Reinhold, New York. USA.
- 12- Samuel, M. P. (2002). “Determination of aquifer and well parameters using genetic algorithm.” MSc. Thesis, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India.
- 13- Neuman, S. P. (1972). “Theory of flow in unconfined aquifers considering delay response of the water table.” *Water Resour. Res.*, 8, 1031-1045.
- 14- Neuman, S. P. (1975a). “Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed gravity response.” *Water Resour. Res.*, 11, 329-342.
- 15- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*, 1<sup>st</sup> Ed., Addison-Wesley Publishing Company, New York.
- 16- Mitsuo, G., and Cheng, R. (1997). *Genetic algorithms and engineering design*, 1<sup>st</sup> Ed., John Wiley and Sons Inc, New York. USA.
- 17- Asghari Moghaddam, A. (1991). “The hydrogeology of the Tabriz area, Iran.” Ph.D Thesis, University College London. UK.
- 18- Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox User’s Guide. (2006). 1<sup>st</sup> Ed., The Mathworks Inc.
- 19- Daliakopoulos, I. N., Coulibaly, P., and Tsanis, I. K. (2005). “Ground water level forecasting using artificial neural networks.” *J. Hydrol.*, 309, 229-240.