



## کاربرد رگرسیون حداقل مربعات فازی اصلاح شده در برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی سفره محبوس با روش کوپر-ژاکوب (مطالعه موردی: دشت سوهان)

اکرم راهبر<sup>۱\*</sup>، مهدی تلخابی<sup>۲</sup>، محمد نخعی<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشکده علوم دانشگاه خوارزمی

۲- کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشکده علوم دانشگاه خوارزمی

۳- استاد زمین شناسی، دانشکده علوم دانشگاه خوارزمی

\* نویسنده مسئول: akramrahbar@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۰۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۰۹

### چکیده

برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان یکی از مسائل مهم در مدیریت منابع آب زیرزمینی است. شناخت خصوصیات هیدرولیکی آبخوان‌ها به منظور درک بهتر و تعیین الگوی جریان طبیعی یک آبخوان و سنجش آب زیرزمینی الزامی است. ضریب تراوایی و ضریب ذخیره از جمله ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان هستند که به دلیل وجود ناهمگنی‌های زمین شناسی، ناشی از وجود طبقات مختلف زیر سطحی، ممکن است دارای تغییرات مکانی زیادی باشند. برآورد این خصوصیات امکان پیش‌بینی کمی واکنش آبخوان به میزان تغذیه و تخلیه را فراهم می‌کند. روش‌های مختلفی برای تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی وجود دارد که می‌توان به روش‌هایی چون: استفاده از فرمول‌های تجربی، روش‌های آزمایشگاهی، روش‌های ژئوفیزیکی، آزمایش ردیابی و آزمون پمپاژ اشاره کرد. استفاده از داده‌های آزمون پمپاژ به منظور برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان، از بهترین و متداول‌ترین روش‌ها، با قابلیت انعکاس گسترده و سیعی از آبخوان می‌باشد. با استفاده از داده‌های افت-زمان آزمون پمپاژ با روش‌های مختلفی می‌توان پارامترهای آبخوان را محاسبه نمود. معادله کوپر-ژاکوب جهت تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان، ضریب ذخیره و انتقال، برای آبخوان محبوس استفاده می‌شود. در این پژوهش از روش رگرسیون حداقل مربعات فازی اصلاح شده (Modified Fuzzy least-squares regression)، برای داده‌های آزمون پمپاژ استفاده می‌شود تا داده‌های آزمون پمپاژ غیردقیق را به منظور محاسبه شیب و عرض از مبدأ فازی به کار برده و سپس این مقدار را برای محاسبه ضریب ذخیره و قابلیت انتقال آبخوان توسط روش کوپر-ژاکوب استفاده نمود. برای محاسبه توابع فازی ضریب ذخیره و ضریب تراوایی از اصل توسعه استفاده شد. روش رگرسیون حداقل مربعات فازی اصلاح شده (MFLSR) توأم با روش کوپر-ژاکوب به شخص توانایی تحلیل عدم قطعیت ذاتی پارامترهای محاسبه شده را خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: آزمون پمپاژ، آبخوان محبوس، ضرایب هیدرودینامیکی، رگرسیون فازی اصلاح شده، دشت سوهان.

### مقدمه

هیدرولیکی منطقه اشباع به وسیله روش‌های مختلفی از جمله فرمول‌های تجربی، روش‌های آزمایشگاهی، آزمایش ردیابی و آزمون پمپاژ انجام می‌شود (تاد و میز، 2005). ضرایب هیدرودینامیکی به منظور پیش‌بینی مسیر حرکت آلودگی و تعیین جهت و سرعت حرکت آب زیرزمینی مورد نیاز است. در سال‌های اخیر استفاده از آزمون پمپاژ برای پیش‌بینی

استفاده بهینه از منابع آب سطحی و زیرزمینی یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیران و تصمیم‌گیران در زمینه مدیریت آبخوان است. یکی از مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز جهت مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی، تخمین صحیح پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان‌ها است. تعیین هدایت

برای آبخوان محبوس، معمولاً به وسیله رسم نمودار داده‌های افت-زمان و انطباق آن با منحنی تیپ تاپس انجام می‌شود و پارامترهای آبخوان، یعنی ضریب ذخیره ( $S$ ) و قابلیت انتقال ( $T$ )، بر اساس خواندن مقادیر منطبق شده بر روی نمودار، محاسبه می‌شوند. روش‌های گرافیکی به دلیل خطای انسانی در ترسیم و انطباق منحنی، ضرایب هیدرودینامیکی دقت و صحت بالایی ندارند. بنابراین محققین به روش‌های دقیق‌تر از جمله روش‌های تحلیلی و هوش مصنوعی روی آورده‌اند (نخعی و افشار، ۱۳۹۰؛ امجدی و نخعی، ۱۳۹۱؛ سامانی و همکاران، ۲۰۰۷). در این روش‌ها با استفاده از داده‌های افت-زمان آزمون پمپاژ و برخی خصوصیات دیگر از جمله دبی پمپاژ و فاصله چاه مشاهده‌ای از چاه پمپاژ و قرار دادن آن در الگوریتم موردنظر، پارامترهای بهینه آبخوان به دست می‌آیند.

روش‌های مختلفی به منظور محاسبه پارامترهای آبخوان ارائه شده است. برای مثال، با استفاده از حداقل مربعات و با گرفتن مشتق مجموع مربع اختلاف بین افت‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده. مک الوی (۱۹۸۰) تکنیک حداقل مربعات و آنالیز حساسیت داده‌های افت-زمان، برای پارامترهای آبخوان پیشنهاد کرد. سلیم (۱۹۷۰) برنامه غیرخطی ( $NLP$ ) برای کمینه کردن مجموع مربع اختلاف بین افت‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده، پیشنهاد کرد.

به منظور طراحی بهینه پمپ و ارائه راهکارهای عملی برای تصفیه آب زیرزمینی آلوده چین و همکاران (۱۹۹۲) از الگوریتم تبرید تدریجی<sup>۶۱</sup> ( $SA$ ) استفاده کردند. در پژوهشی مشابه هوانگ و همکاران (۲۰۰۸) روشی رایانه‌ای مبتنی بر الگوریتم تبرید تدریجی با استفاده از آزمون‌های پمپاژ ارائه دادند. از روش‌های مناسب برای تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی، روش‌های مبتنی بر رگرسیون داده‌های پمپاژ است. رگرسیون خطی فازی، توسط تاناکا و همکاران (۱۹۸۲)

خصوصیات آبخوان مورد توجه پژوهشگران بوده است. در مطالعات آب زیرزمینی، ضریب قابلیت انتقال، پارامتر مهمی در ارزیابی توسعه محلی و منطقه‌ای منابع آب زیرزمینی است (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۱). با استفاده از داده‌های آزمون پمپاژ، به روش‌های مختلفی می‌توان ضرایب هیدرودینامیکی را تخمین زد. روش‌های دیگری همچون ژئوفیزیکی و آزمایشگاهی نیز به منظور تخمین ضرایب هیدرودینامیکی توسط محققین مختلف ارائه شده است؛ اما تاکنون نتوانسته‌اند این روش‌ها، نتایج قابل اعتمادی ارائه کنند (ایجه، ۲۰۱۲؛ اپارا و همکاران، ۲۰۱۲؛ سالارعیاری و سی و سه مرد، ۲۰۱۲). بنابراین آزمون پمپاژ از معتبرترین و متداول‌ترین روش‌ها به شمار می‌رود که توانایی انعکاس محدوده وسیعی از آبخوان را دارد (تاد، ۱۹۸۰؛ والتون، ۱۹۸۷؛ اشجاری، ۲۰۱۳).

اطلاعاتی که از آزمون پمپاژ برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی به دست می‌آید؛ عبارت است از داده‌های افت زمان، دبی پمپاژ، فاصله چاه مشاهداتی از چاه پمپاژ و مشخصات آبخوان از قبیل ضخامت و سطح آب زیرزمینی. تحلیل داده‌های آزمون پمپاژ و انتخاب روش حل مناسب برای تخمین دقیق ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان همواره مدنظر مهندسين علوم زمین بوده است؛ به طوری که با گذشت سال‌ها از اولین پژوهش (تاپس، ۱۹۳۵) تحقیق متوقف نشده است و همچنان محققین به دنبال روش‌های حل کامل‌تر هستند (تارتاکفسکی، ۲۰۰۷).

از آنجایی که مدیریت صحیح منابع آب تا حد زیادی بستگی به برآورد صحیح پارامترهای آبخوان دارد، بنابراین تشخیص صحیح مقادیر این پارامترها، اهمیت بالایی دارد. تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی سفره با استفاده از روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد. یکی از این روش‌ها استفاده از داده‌های آزمون پمپاژ و روش‌های گرافیکی و انطباق منحنی است. در روش انطباق منحنی، آنالیز داده‌های آزمون پمپاژ

<sup>61</sup> Simulated annealing

$$s \approx - \frac{Q}{4\pi T} \left[ 0.5772 + \ln \frac{r^2 S}{4T} \right] - \frac{Q}{4\pi T} \ln 1/t \quad [1]$$

این معادله یک خط راست است که در آن افت  $s$  تابعی از  $I/t$  است. ضرایب  $S$  و  $T$  را می‌توان به ترتیب با استفاده از عرض از مبدأ و شیب خط محاسبه کرد. معادله کوپر - ژاکوب با به‌کارگیری مقادیر سطح آب اندازه‌گیری شده قطعی<sup>۶۴</sup> (غیرفازی)، پارامترها را نیز به‌صورت قطعی ارائه خواهد داد. این روش در بیان عدم قطعیت ذاتی ضرایب هیدرودینامیکی محاسبه شده ناشی از ناهمگنی هیدروژئولوژیکی مجاور چاه‌های مشاهده‌ای، ناتوان است.

در حین اجرای آزمون پمپاژ، مقادیر اندازه‌گیری‌های سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای و فاصله آن‌ها قطعی است و با خطایی ناچیز همراه است؛ در صورتی که شرایط محیط متخلخل نشان‌دهنده این است که اندازه‌گیری‌ها به دلیل ناهمگنی و تغییر ویژگی محیط متخلخل، دارای عدم قطعیت فراوان هستند. داده‌های افت  $(m)$  - زمان  $(min)$  مورد استفاده در پژوهش حاضر در شکل ۱، آمده است. داده‌های آزمون پمپاژ متعلق به چاه عمیق سوهان واقع در دهکده سوهان، بخش شادکان شهرستان قوچان، که در آبخوان محبوس حفر شده، استفاده شد. فاصله چاه پمپاژ تا چاه مشاهده‌ای  $20(m)$  و با نرخ ثابت  $32 (L s^{-1})$  پمپاژ انجام شده است.

معرفی شد. مطالعات زیادی نیز در زمینه روش‌های رگرسیون فازی انجام شده است (چنگ و ایوب، ۲۰۰۱). در زمینه کاربرد رگرسیون فازی در مطالعات هیدرولوژی تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای انجام شده است (باردوسی و همکاران، ۱۹۹۰؛ اوزلکان و داکستین، ۲۰۰۱؛ اودامری، ۲۰۰۴؛ سی و بودهینایاک، ۲۰۰۵). اولین بار ساویچ و پدريچ (۱۹۹۱) از رگرسیون فازی حداقل مربعات<sup>۶۲</sup> ( $FLSR$ ) استفاده نمود. با کمی تغییرات، با روش رگرسیون فازی حداقل مربعات اصلاح شده<sup>۶۳</sup> ( $MFLSR$ ) نتایج بهتری حاصل شد (چنگ، ۲۰۰۱). در این پژوهش از ترکیب روش رگرسیون فازی حداقل مربعات اصلاح شده و روش کوپر-ژاکوب (کوپر و ژاکوب، ۱۹۴۶) استفاده می‌شود تا ضریب ذخیره و قابلیت انتقال آبخوان تعیین شود.

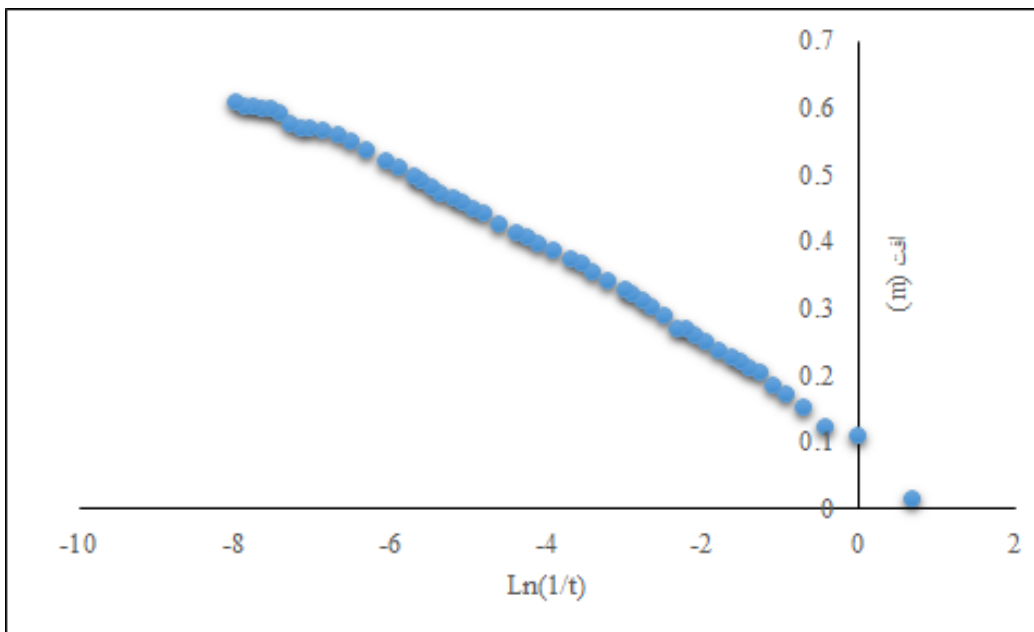
#### مواد و روش‌ها

روش کوپر-ژاکوب بر مبنای روش تاپس جهت محاسبه ضریب ذخیره ( $S$ ) و ضریب انتقال ( $T$ ) آبخوان ارائه شده است. در روش کوپر و ژاکوب انطباق منحنی‌ها وجود ندارد و مراحل انجام کار کمی ساده‌تر می‌شود؛ البته شرط استفاده از این روش این است که  $u < 0.01$  باشد. یعنی فاصله چاه پیزومتری از چاه پمپاژ کم و زمان پمپاژ طولانی باشد. در معادله [۱] چگونگی محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی در روش کوپر و ژاکوب آمده است.

<sup>64</sup> Crisp

<sup>62</sup> Fuzzy least-squares regression

<sup>63</sup> Modified Fuzzy least-squares regression



شکل ۱- داده‌های صحرایی منطقه مورد مطالعه، افت نسبت به  $Ln(1/t)$

## نتایج و بحث

مدل رگرسیون کمترین مربعات فازی دو متغیره تیپیک به صورت رابطه [۲] می‌باشد.

$$\tilde{Y} = \bar{A}0 + \bar{A}1X \quad [2]$$

که  $\bar{A}0$  و  $\bar{A}1$  به ترتیب عرض از مبدأ و شیب فازی، با فرض توابع عضویت مثلثی متقارن می‌باشند (شکل ۲). داده‌های ورودی  $X_i$ ، متغیر مستقل حقیقی بوده و خروجی  $\tilde{Y}$ ، متغیر وابسته فازی و یا حقیقی است. ضرایب فازی معادله رگرسیون به صورت  $\bar{A}i = (m_i, C_i)$  نمایش داده می‌شوند که  $m_i$  مرکز تابع عضویت و  $C_i$  پهنای آن است. این ضرایب با حل مسئله بهینه یابی زیر، حاصل خواهد شد.

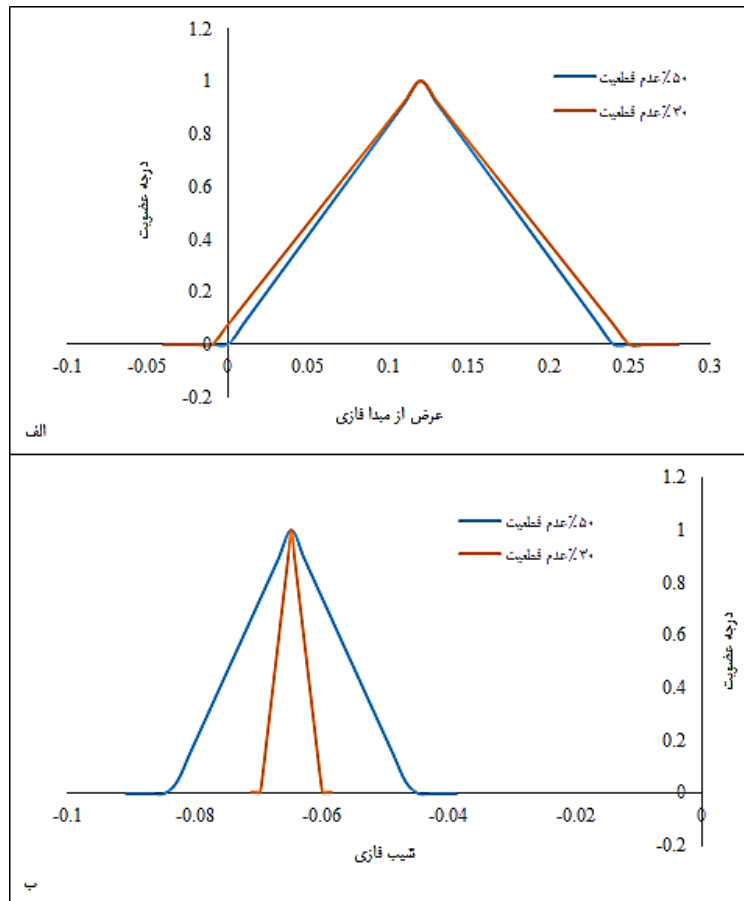
با توجه به تحقیق متون و همکاران (۲۰۰۸) معادله نهایی

کمترین مربعات فازی اصلاح شده به صورت زیر است:

$$\text{Objective function : Minimize : } nc_0 + c_1 \sum_{i=1}^n |x_i| \quad [3]$$

$$\text{Subject to : } \sum_{j=0}^1 C_j |x_{ij}| \leq -e_i \quad \text{for } i = 1 \text{ to } n \quad C_0 \geq 0; C_1 \geq 0 \quad [4]$$

در اینجا  $n$  تعداد داده‌ها،  $e_i$  اختلاف بین سطح آب مشاهداتی در صحرا و سطح آب محاسباتی با در نظر گرفتن عدم قطعیت می‌باشد،  $C_0$  و  $C_1$  پهنای فازی توابع عضویت عرض از مبدأ و شیب فازی است. در شکل ۲ عرض از مبدأ و شیب فازی برای حالت‌های ۳۰ و ۵۰ درصد عدم قطعیت آمده است.



شکل ۲- عرض از مبدأ (الف) و شیب فاززی (ب) برای حالت‌های ۳۰ و ۵۰ درصد عدم قطعیت.

### ضریب انتقال

در روش کوپر - ژاکوب شیب معادله به منظور محاسبه ضریب انتقال ( $m+2 \min$ ) استفاده می‌گردد. بنابراین با مساوی قرار دادن شیب معادلات حاصل از بهینه یابی در بخش قبل و شیب معادله کوپر-ژاکوب، رابطه [۷]، می‌توان ضریب انتقال را به صورت معادله زیر محاسبه کرد.

$$\bar{T} = -\frac{q}{4\pi[\bar{A}1]} \quad [7]$$

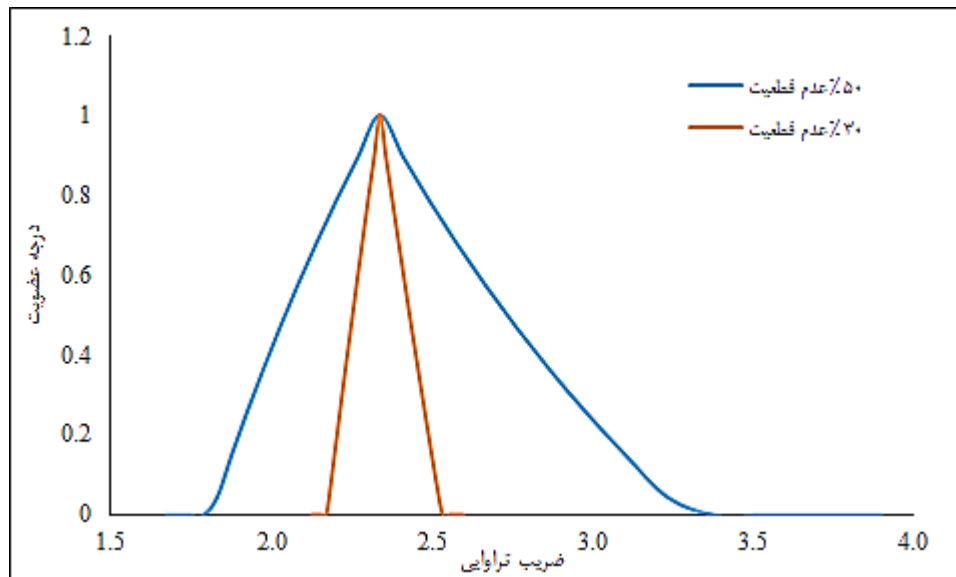
با جایگذاری  $\bar{A}1$  در معادله فوق برای حالت ۳۰ و ۵۰٪ عدم قطعیت و حل مسئله با استفاده از اصل توسعه نتایج به صورت شکل ۳ خواهند بود.

در روش کمترین مربعات فاززی، ابتدا ضرایب رگرسیون کمترین مربعات معمولی برای داده‌های مشاهده‌ای محاسبه شده و برابر مرکز ضرایب معادله رگرسیون فاززی، یعنی  $m_j$  قرار می‌گیرد. سپس مقدار  $C_j$  با حل مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه شده در روابط [۳] و [۴] به دست می‌آید.

مسائل بهینه یابی مربوط به روابط [۳] و [۴]، توسط نرم‌افزار LINGO حل شده و نتایج برای حالت ۳۰ و ۵۰ درصد عدم قطعیت در روابط [۵] و [۶] آمده است.

$$Y_{50} = (0.1202, 0.1296813) + (-0.0648, 0.01882564)X \quad [5]$$

$$Y_{30} = (0.1202, 0.1194881) + (-0.0648, 0.004921444)X \quad [6]$$



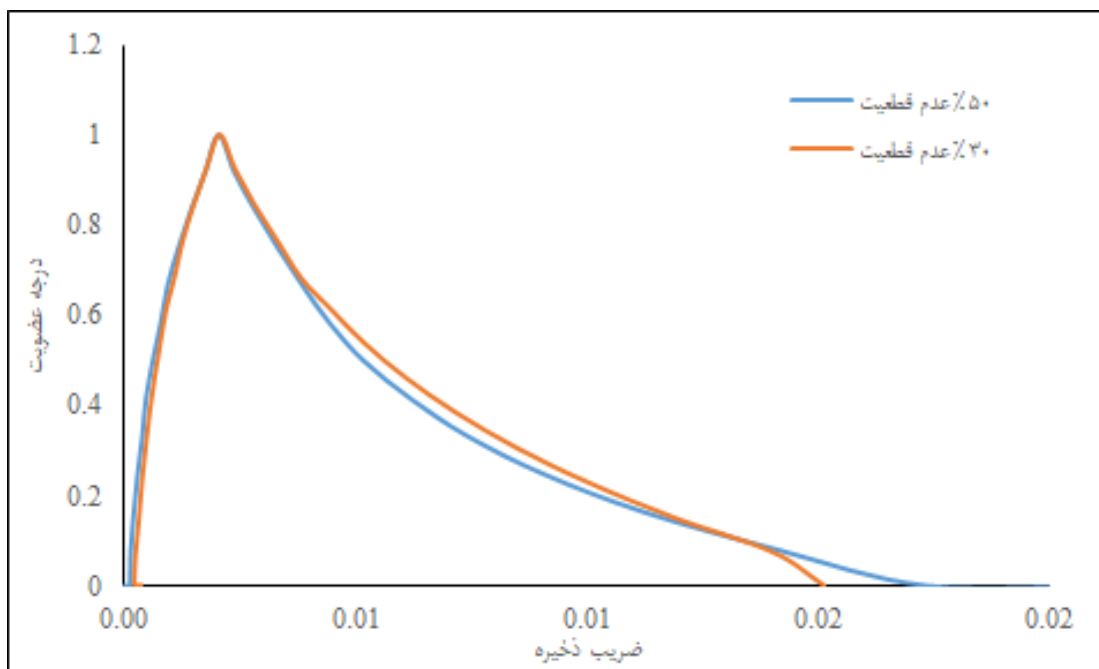
شکل ۳- تابع عضویت ضریب انتقال برای حالت‌های ۳۰ و ۵۰ درصد عدم قطعیت.

$$\tilde{S} = \frac{4\bar{T}}{r^2} \exp\left[\frac{-4\pi\bar{T}}{Q} [\bar{A}0] - 0.5772\right] \quad [8]$$

با جایگذاری  $[\bar{A}0]$  در معادله فوق برای حالت ۳۰ و ۵۰٪ عدم قطعیت و حل معادله توسط اصل توسعه نتایج به صورت شکل ۴ خواهد بود.

ضریب ذخیره

عرض از مبدأ معادله کوپر - ژاکوب نیز به منظور محاسبه ضریب ذخیره استفاده می‌شود. در نتیجه عرض از مبدأ روابط [۵] و [۶] و معادله کوپر-ژاکوب، رابطه [۷]، را مساوی قرار داده و خواهیم داشت:



شکل ۴- تابع عضویت ضریب ذخیره برای حالت‌های ۳۰ و ۵۰ درصد عدم قطعیت.

## نتیجه‌گیری

تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان‌ها یکی از مسائل مهم در مدیریت منابع آب است. روش‌های مختلفی برای تخمین این پارامترها وجود دارد که استفاده از داده‌های آزمون پمپاژ از مطمئن‌ترین روش‌ها است. از آنجاکه در محاسبه پارامترهای هیدرولیکی آبخوان با روش‌های پیشین، قطعیتی برابر با صد در صد فرض شده و این فرض عملاً نادرست است. با تلفیق روش‌های رگرسیون کمترین مربعات فازی اصلاح‌شده و کوپر-ژاکوب، عدم قطعیتی را که به‌طور ذاتی در پارامترهای مورد ارزیابی وجود دارد، می‌توان بررسی کرد. روش *MFLSR* با در نظر گرفتن درصدهایی از عدم قطعیت در مورد داده‌های سطح آب اندازه‌گیری شده، رابطه رگرسیون خطی فازی ارائه می‌دهد که به‌جای نتایج رگرسیون خطی معمولی در معادل کوپر-ژاکوب قرار می‌گیرد. توابع عضویت ضریب ذخیره و قابلیت انتقال توصیف‌کننده عدم قطعیت ذاتی این پارامترها است. به همین نحو در مورد ضریب ذخیره نیز درجه عضویت ۱ در مقدار  $0.0205$  حاصل شد که با نتایج روش کوپر-ژاکوب همخوانی دارد. با توجه به روش ارائه شده،  $S$  و  $T$  مجاز به دارا بودن مقادیر مختلف درجه عضویت‌اند که برای ضریب انتقال از  $1/83$  تا  $2/33$  افزایش و از  $2/33$  تا  $3/23$  کاهش می‌یابد. برتری روش *MFLSR* نسبت به روش‌های رگرسیون فازی (*FR*) و رگرسیون کمترین مربعات فازی (*FLSR*) در مورد  $S$  و  $T$ ، مخصوصاً ضریب انتقال در حالت  $30\%$  عدم قطعیت مشهود است. درنهایت این نمایش عدم قطعیت در پارامترهای آبخوان درک بهتری از شرایط هیدروژئولوژیکی ناهمگن را خواهد داد. بنابراین استفاده از این روش در جهت تعیین و تخمین ضرایب هیدرودینامیکی در مناطق مختلف، می‌تواند بهینه و مفید باشد و به‌طور دقیق‌تری برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان به کار رود.

## منابع

- امجدی، م، و نخعی، م. ۱۳۹۱. تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان محبوس و نشتی با تکنیک الگوریتم تبرید تدریجی. مجموعه مقالات سی و یکمین همایش علوم زمین.
- نخعی، م، افشار، م، ۱۳۹۰. ارزیابی روش آزمون تک چاهی جهت تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان. مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- Ashjari, J. 2013. determination of storage coefficients during pumping and recovery. *Groundwater*. 51: 122-127.
- Bardossy, A., Bogardi, I., Duckstein, L. 1990. Fuzzy regression in hydrology. *Water Resources Research*. 26: 1497-1508.
- Chang, Y.H.O. 2001. Hybrid fuzzy least-squares regression analysis and its reliability measures. *Fuzzy Sets and Systems*. 119: 225-246.
- Chang, Y.O., Ayyub, B.M. 2001. Fuzzy regression methods – a comparative assessment. *Fuzzy Sets and Systems*. 119: 187-203.
- Chin-Hwa, K., Anthony, N., Michel, W., Gray, G. 1992. Design of optimal pump-and-treat strategies for contaminated groundwater remediation using the simulated annealing algorithm. *Advances in Water Resources*. 32: 95-105.
- Cooper, H.H., Jacob, C.E. 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. *American Geophysical Union Transactions*. 27: 526-534.
- Huang, Y.C., Hund, Y., Chung, Lin. 2008. A computer method based on simulated annealing to identify aquifer parameters using pumping-test data. *Numerical Analytical Geomechanic*. 32: 235-249.
- Huang, Y.P., Kung, W.J., Lee, C.H. 2011. Estimating aquifer transmissivity in a basin based on stream hydrograph records using an analytical approach. *Environ Earth Sci*. 63: 461-468.
- Ijeh, I.B. 2012. Evaluation of the aquifer hydraulic characteristics from electrical sounding data in Imo River Basin, South Eastern Nigeria: the case of Ogwashi-Asaba Formation. *Int. J. Modern Eng. Res*. 2: 3237-3244.
- James, A. N. and Lupton, A. R. R. 1978. Gypsum and anhydrite in foundation of hydraulic structure. *Geotechnique*. 28: 249-272.
- McElwee, C.D. 1980. Theis parameter evaluation from pump tests by sensitivity analysis. *Ground Water*. 18:56-60.
- Opara, A.I., Onu, N.N., Okerefor, D.U. 2012. Geophysical sounding for the determination of aquifer hydraulic characteristics from Dar-Zurrock

- Tartakovsky, G.D., Neuman, S.P. 2007. Three-dimensional saturated unsaturated flow with axial symmetry to a partially penetrating well in a compressible unconfined aquifer. *Water Resources Research*. DOI: 1029/2006WR005153
- Theis, C.V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *American Geophysics*. 16: 519-524.
- Todd, D.K. 1980. *Groundwater Hydrology*. New York, John Wiley and Sons, 2d ed.
- Todd, D.K., Mays, L.W. 2005. *Groundwater Hydrogeology*. New York, John Wiley and Sons.
- Uddameri, V. 2004. Relationships of longitudinal dispersivity and scale developed from fuzzy least-squares regressions. *Environmental Geology*. 45: 1172-1178.
- Walton, W.C. 1987. *Practical Aspects of Ground Water Modeling*. National Water Well Association.
- James, A. N. and Binnie and partners, 1981. Solution parameters of carbonate rocks, *Bulletin of international Association of Engineering Geology*. 24: 19-25.
- Parameters: Case Study of Ngor Okpala, Imo River Basin, Southeastern Nigeria. *Pacific J. Sci. Techn*. 13: 590-603.
- Ozelkan, E.C., Duckstein, L. 2001. Fuzzy conceptual rainfall-runoff models. *Journal of Hydrology*. 253: 41-68.
- Salarashayeri, A.F., Siosemarde, M. 2012. Prediction of soil hydraulic conductivity from particle-size distribution. *World Acad. Sci. Eng. Tech*. 61: 454-458.
- Saleem, Z.A. 1970. A computer method for pumping test analysis. *Ground Water*. 13: 21-24.
- Samani, N., Gohari-Moghadam, M., Safavi, A.A. 2007. A simple neural network model for the determination of aquifer parameters. *Journal of Hydrolog*. 340: 1-11.
- Savic, D.A., Pedrycz, W. 1991. Evaluation of fuzzy linear-regression models. *Fuzzy Sets and Systems*. 39: 51-63.
- Si, B.C., Bodhinayake, W. 2005. Determining soil hydraulic properties from tension infiltrometer measurements: Fuzzy regression. *Soil Science Society of America Journal*. 69: 1922-1930.
- Tanaka, H., Uejima, S., Asai, K. 1982. Linear-regression analysis with fuzzy model. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*. 12: 903-907.