

## برآورد هم‌زمان هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل موثر به روش حل معکوس معادله بوسینسک در اطراف زهکش زیرزمینی

مریم بازاری جامخانه<sup>1</sup>، محمدعلی غلامی سفیدکوهی<sup>2\*</sup>، سهراب عزیزپور<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 1396/1/16 تاریخ پذیرش: 1396/2/30

### چکیده

هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل موثر از مهم‌ترین پارامترها در مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی، حرکت آب در خاک و انتقال املاح می‌باشد. پژوهش حاضر، با هدف بررسی دقت پیش‌بینی هم‌زمان این دو پارامتر با استفاده از حل معکوس معادله بوسینسک یک‌بعدی حاکم بر جریان اشباع و غیرماندگار انجام شد. در روش معکوس پیشنهاد شده، از الگوریتم ژنتیک به عنوان روش بهینه‌سازی و از روش حجم کنترل برای حل عددی معادله دیفرانسیل حاکم استفاده شد. به منظور جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، مدل فیزیکی به طول 4 متر، عرض 2 متر و ارتفاع 1/8 متر ساخته شد و در زمان‌های مختلف ارتفاع سطح ایستابی از طریق 20 عدد پیژومتر تعبیه شده در مدل قرائت شد. همچنین مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع (K) و تخلخل موثر ( $\mu$ ) به صورت مستقیم نیز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، الگوریتم ژنتیک ابزاری توانمند برای بهینه‌سازی در روش حل معکوس می‌باشد زیرا مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل موثر با دقت بالایی برآورد شد. یافته‌ها نشان داد ارتفاع سطح ایستابی به روش معکوس با دقت قابل‌قبولی پیش‌بینی شد به طوری که پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای حداکثر (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE) و راندمان یا کارایی مدل (EF) به ترتیب 22، 18، 53 (میلی‌متر) و 94 درصد حاصل شد. همچنین نتایج دلالت بر این دارد که گذشت زمان باعث شد تا روش بکارگرفته از دقت بالایی برخوردار شود به طوری که توانایی پیش‌بینی روش معکوس در زمان‌های پایانی آزمایش بیش‌تر از گام‌های زمانی اولیه بود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، الگوریتم ژنتیک، حجم کنترل، سطح ایستابی

### مقدمه

آمده با روش‌های ذکر شده گاهی غیرقابل اعتماد، وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد (Hore., 1959). به دلیل دشواری‌های اندازه‌گیری مستقیم، در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی صورت گرفته تا بتوان این ویژگی‌ها را از روش‌های غیرمستقیم با تقریب مناسب برآورد نمود. یکی از ابزارهایی که طی سال‌های اخیر برای برآورد ویژگی‌های پدیده مختلف به کار گرفته شده، استفاده از روش حل معکوس است. روش حل معکوس عموماً از دو قسمت شامل مدل شبیه‌سازی و الگوریتم بهینه‌سازی تشکیل می‌شود. برآورد هم‌زمان جذب آب توسط ریشه گیاه و پارامترهای هیدرولیکی خاک با روش معکوس مورد بررسی قرار گرفت (Schelle et al., 2013). نتایج حاصل نشان داد که روش حل معکوس از کارایی و قابلیت خوبی برای شناسایی پارامترهای هیدرولیکی خاک و پارامتر عمق ریشه برای مکش در لایسمترها برخوردار است. شرایط لازم برای برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک با استفاده از روش حل معکوس بررسی شد (Mao et al., 2013). نتایج پژوهش اخیر نشان داد که برای دستیابی به جواب‌های دقیق، لازم است تعداد داده‌های مشاهده‌ای از تعداد پارامترهای مجهول بیش‌تر باشد. همچنین پارامترهای هیدرولیکی

خصوصیات هیدرولیکی خاک یکی از مسایل مهم فیزیک خاک محسوب می‌شود، که برآورد آن‌ها در اکثر مطالعات آب و خاک از جمله آبیاری و زهکشی اهمیت فراوانی دارد. شبیه‌سازی و طراحی پروژه‌های زهکشی نیاز به شناخت پارامترهای هیدرولیکی خاک از جمله هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و تخلخل موثر دارد، که می‌توان از روش مستقیم، اندازه‌گیری صحرائی یا آزمایشگاهی و روش غیرمستقیم، مدل ریاضی - فیزیکی و توابع انتقالی برآورد نمود. این دو پارامتر مهم، در زمان و مکان متغیر بوده و اغلب با عملیات فیزیکی که روی خاک انجام می‌شود، تغییر می‌کنند. بنابراین نتایج به‌دست

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

2- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

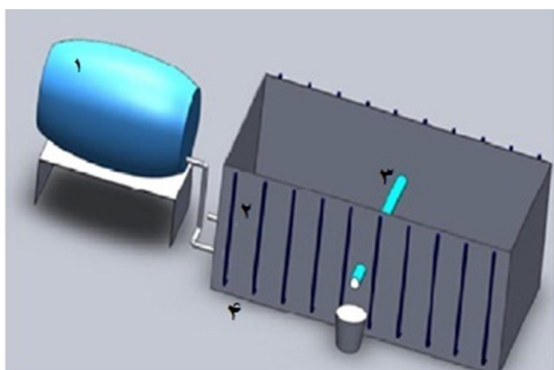
3- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

ساری

(Email: ma.gholami@sanru.ac.ir)

\*-نویسنده مسئول:

ارتفاع  $1/8$  متر می‌باشد که از ورق گالوانیزه ساخته شده است. به‌منظور امکان تخلیه زه‌آب، از لوله زهکش به قطر 125 میلی‌متر در وسط مدل و در عمق  $0/9$  متری استفاده شد. فیلتر اطراف لوله زهکش از نوع الیاف مصنوعی بوده است. برای اندازه‌گیری سطح ایستابی در فواصل مختلف از زهکش، در راستای طولی مدل 20 عدد پیزومتر در ابتدا و انتهای زهکش نصب شد. همچنین یک شیر تغذیه جهت اشباع نمودن خاک در کف مدل قرار داده شد (شکل 1). خاک موجود در مدل دارای بافت رسی‌لومی بود که ابتدا از الک 2 میلی‌متری رد شد تا ناخالصی‌های آن جدا شود. سپس خاک را به صورت لایه‌های 15 سانتی‌متری درون مدل فیزیکی ریخته شد و با یک تخته صاف تراکم مختصری برای هر لایه ایجاد شد. به‌منظور آماده‌سازی مدل فیزیکی و جلوگیری از حبس شدن هوا در داخل خاک، اشباع نمودن مدل توسط لوله ورودی تهیه شده در کف مدل انجام شد. پس از آن مدل به مدت چند هفته رها شد تا خاک حالت طبیعی‌تری برای انجام آزمایش پیدا نماید. با شروع عملیات زهکشی نیم‌رخ‌های سطح ایستابی در فواصل زمانی 5 دقیقه توسط پیزومترهای نصب شده در طول دیواره طولی مدل (ابتدا و انتهای زهکش) اندازه‌گیری و ثبت شد. این فرآیند با فاصله زمانی 5 دقیقه تا 75 دقیقه پس از شروع زهکشی ادامه یافت.



شکل 1 - شماتیک مدل زهکشی

(1- منبع تغذیه آب، 2- پیزومتر، 3- لوله زهکش، 4- مدل فیزیکی)

#### اندازه‌گیری پارامترها به روش مستقیم

به‌منظور اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، از روش زه‌آب خروجی استفاده شد. بدین منظور، مقادیر دبی خروجی از زهکش ( $q$ ) و ارتفاع سطح ایستابی ( $h$ ) اندازه‌گیری شد و در نهایت با بهره‌گیری از معادله جریان ماندگار هوخهات<sup>1</sup>، مقدار این پارامتر تعیین شد. همچنین به‌منظور تعیین تخلخل موثر (قابل زهکشی) از روش حجمی استفاده شد (علیزاده، 1382). در این روش تخلخل موثر از

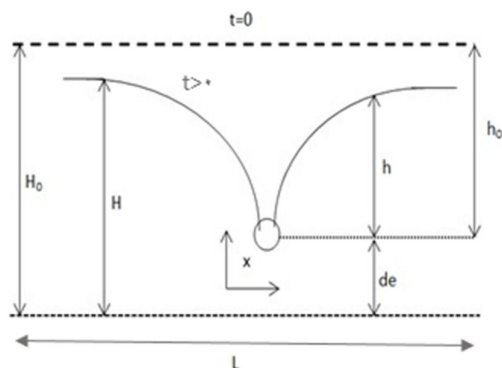
خاک در مقیاس مزرعه‌ای، باعث دستیابی به جواب بهتر خواهد شد و برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک با فرض یکنواخت بودن محیط، به تعداد کم‌تری داده مشاهده‌ای نسبت به محیط غیریکنواخت برای رسیدن به جواب بهینه نیاز است. با استفاده از معادله ریچاردز و الگوریتم ژنتیک و داده‌های رطوبت و مکش در کرت‌های  $2 \times 2$  متری، خصوصیات هیدرولیکی خاک برآورد شد (Mahbod and Zand-parsa., 2010). نتایج نشان داد که کارایی روش معکوس در تعیین خصوصیات هیدرولیکی خاک بالا می‌باشد. همچنین پارامترهای جریان آب با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک باینری در روش حل معکوس بررسی شد (Majdalani et al., 2008). در این پژوهش با استفاده از معادله انتشار موج سینماتیک و الگوریتم ژنتیک، پارامترهای جریان آب بهینه شد. همچنین با استفاده از معادلات غیرماندگار زهکشی و داده‌های سطح ایستابی در مدل آزمایشگاهی، پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل موثر قابل زهکشی بطور هم‌زمان برآورد شد (Samani et al., 2007). نتایج این پژوهش نشان داد که روش حل معکوس روش قابل اعتمادی برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل موثر است. مقادیر پارامترهای ثابت معادله وان‌گنوختن با استفاده از اندازه‌گیری زمانی نیم‌رخ‌های رطوبتی و روش‌های معکوس پیش‌بینی و با مقادیر آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت (Ritter et al., 2003). نتایج حاصل از پژوهش اخیر نشان داد که روش معکوس نتیجه دقیق‌تری را نسبت به روش‌های آزمایشگاهی ارایه می‌دهد. روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک جهت تخمین معکوس توابع هیدرولیکی خاک به کار گرفته شد (Amor and Droogers., 2002). نتایج نشان داد که رویکرد الگوریتم ژنتیک ابزار توانمندی جهت کاربرد در مسایل معکوس در نواحی غیراشباع خاک به شمار می‌آید. از روش حل معکوس فرایند تبخیر، جهت تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک و تحلیل عدم قطعیت آن استفاده شد. نتایج نشان داد که روش مذکور می‌تواند تخمین‌هایی از مقادیر خصوصیات هیدرولیکی خاک به همراه عدم قطعیت آن‌ها را فراهم سازد (Minasny and Field., 2005).

هدف از این پژوهش، ارزیابی روش حل معکوس در تعیین هم‌زمان هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل موثر خاک و استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک در پیش‌بینی تراز سطح ایستابی می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### مدل فیزیکی

پژوهش حاضر در سال 1393 در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری صورت پذیرفت. برای اندازه‌گیری داده‌های سطح ایستابی در زمان و مکان‌های مختلف اطراف زهکش، از مدل فیزیکی موجود در دانشگاه استفاده شد. طول این مدل 4 متر، عرض 2 متر و



شکل 2- شماتیک و علایم توصیف کننده مسایل زهکشی

برای حل عددی معادله حاکم بر جریان از روش حجم کنترل استفاده شد. برای بسط روش حل معکوس و برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و تخلخل موثر از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. بدین منظور جمعیت اولیه به صورت تصادفی برای هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل موثر تولید گردید. برای تولید نسل جدید جوابها، از عملگر تقاطع دو نقطه‌ای و برای به دست آوردن جواب بهینه واقعی و رهایی از جواب بهینه موضعی از عملگر جهش و از انتخاب تصادفی برای انتخاب کروموزومها استفاده شد. تابع هدف مورد استفاده در الگوریتم بهینه‌سازی به گونه‌ای در نظر گرفته شد که به ازای مقادیر بهینه پارامترهای مدل ریاضی، اختلاف بین داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده‌ی ارتفاع سطح ایستابی در نقاط متناظر حداقل باشد. بنابراین تابع هدف مطابق رابطه 3 تعریف شد.

$$F = \min(\sum_{i=1}^n (h_0 - h_p)^2) \quad (3)$$

که در آن  $h_0$  ارتفاع سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در بالای سطح زهکش،  $h_p$  ارتفاع سطح ایستابی پیش‌بینی شده در بالای زهکش در مکان و زمان مختلف توسط روش حل معکوس و  $n$  تعداد نقاط اندازه‌گیری شده می‌باشد. دست یافتن به جواب ثابت در تکرارهای متوالی، به عنوان قید توقف الگوریتم اعمال گردید. به منظور شبیه‌سازی از الگوریتم ژنتیک جعبه ابزار نرم‌افزار  $Matlab^3$  استفاده شد. برای ارزیابی مقادیر خصوصیات هیدرودینامیک پیش‌بینی شده از روش حل معکوس، از پارامترهای آماری نظیر مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای حداکثر (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE) و راندمان یا کارایی مدل (EF) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$ME = \max |P_i - O_i| \quad (5)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (6)$$

$$EF = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2]}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (7)$$

رابطه‌ی 1 حاصل شد.

$$\mu = \frac{V_g}{V_t} \quad (1)$$

که در آن،  $V_g$  حجم آب خروجی از نمونه دست نخورده‌ی خاک بر اثر نیروی ثقل (حجم آب ثقلی) و  $V_t$  حجم کل خاک دست نخورده است. حجم آب ثقلی از طریق اندازه‌گیری کل حجم آب خروجی از زهکش در مدت زمان آزمایش تعیین شد. حجم کل خاک مورد استفاده در معادله تعیین تخلخل موثر برابر حجم خاک دست نخورده‌ی در نظر گرفته شد که آب ثقلی از آن خارج شده بود. در این پژوهش، این حجم برابر حجم خاک دست نخورده‌ی بالای تراز نصب لوله زهکش بود.

### معادله حاکم بر جریان

به منظور بررسی هیدرولیک جریان، از معادله بوسینسک<sup>1</sup> برای شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی استفاده شد. معادله بوسینسک از جمله معادلات دیفرانسیلی می‌باشد که در شبیه‌سازی جریان اشباع آب به طرف زهکشها کاربرد وسیعی پیدا نمود. این معادله بر مبنای فرضیات دوپوئی<sup>2</sup> - فورشه‌ایمر<sup>2</sup> و اصل پیوستگی جریان استوار بوده و معادله دیفرانسیل درجه دوم پارابولیک و غیرخطی است (Fathi et al., 2006). شکل عمومی این معادله به صورت رابطه 2 است.

$$K \frac{\delta}{\delta x} \left[ H \frac{\delta H}{\delta x} \right] = \mu \frac{\delta H}{\delta t} \quad (2)$$

که در آن  $H$  ارتفاع سطح ایستابی نسبت به لایه غیرقابل نفوذ،  $K$  هدایت هیدرولیکی اشباع و  $\mu$  تخلخل موثر خاک،  $x$  فاصله افقی از زهکش و  $t$  زمان از شروع زهکشی می‌باشد. به منظور شرایط مرزی و اولیه، قیودات زیر اعمال شد.

$$H(x, t) = H_0 \quad 0 \leq x \leq \frac{L}{2}, \quad t = 0$$

$$x = 0, \quad t > 0 \quad H(x, t) = d_e$$

$$\frac{\delta H}{\delta x} = 0 \quad x = \frac{L}{2}, \quad t > 0$$

شماتیک سطح ایستابی در اطراف لوله زهکش در شکل 2 نشان

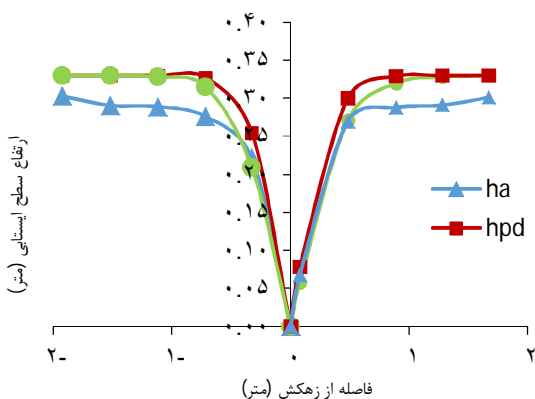
داده شد. در این شکل  $L$  فاصله دو زهکش،  $H$  ارتفاع سطح ایستابی در بالای لایه نفوذناپذیر،  $h$  ارتفاع سطح ایستابی در بالای سطح تراز زهکش،  $d_e$  فاصله عمودی زهکش تا لایه نفوذناپذیر،  $H_0$  ارتفاع سطح ایستابی اولیه در بالای لایه نفوذناپذیر و  $h_0$  ارتفاع سطح ایستابی افقی اولیه در سطح زهکش می‌باشد.

1- Boussinesq

2- Dupuit-Forchheimer

3- Matrix laboratory

نتایج نشان می‌دهد، پارامترهای استخراج شده با استفاده از روش حل معکوس، یعنی تخمین مقادیر هدایت هیدرولیکی و تخلخل موثر با استفاده از بهینه‌سازی و الگوریتم ژنتیک و حل عددی معادله بوسینسک، دارای دقت بیش‌تری نسبت به تخمین پارامترهای گفته شده به روش مستقیم می‌باشد که با نتایج (Schelle et al., 2013; Mao et al., 2013; Mahbod and Zand-pars, 2010; Majdalani et al., 2008; Samani et al., 2007; Ritter et al.) تطابق دارد. به منظور بررسی و شناسایی دقت پیش‌بینی روش عددی در گام‌های زمانی مختلف، آماره‌های ارزیابی محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد با گذشت زمان، دقت پیش‌بینی مدل با استفاده از پارامترهای تعیین شده به روش حل معکوس بهتر خواهد شد. به‌طوری که مقدار RMSE از 30 میلی‌متر در دقیقه 5م به 13 میلی‌متر در دقیقه 75م خواهد رسید. این شرایط بهبود برای آماره‌های ME و MAE نیز صادق بود و به ترتیب 15 و 17 میلی‌متر بهبود را به همراه دارد. شکل 3 و 4 به ترتیب روند تغییرات سطح ایستابی نسبت در گام‌های زمانی 5 و 75 دقیقه پس از شروع زهکشی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی با فاصله از زهکش، اختلاف مابین مقادیر نیم‌رخ سطح ایستابی پیش‌بینی شده با استفاده از پارامترهای برآورد شده از روش مستقیم ( $h_{pi}$ ) و روش حل معکوس ( $h_{pi}$ ) با مقادیر اندازه‌گیری شده ( $h_a$ ) بیش‌تر خواهد شد.



شکل 3- نیم‌رخ پیش‌بینی ارتفاع سطح ایستابی در زمان 5 دقیقه پس از شروع زهکشی

دلیل این اتفاق را می‌توان به عدم تطابق شرایط واقعی هیدرولیک جریان به طرف زهکش با شرایط آزمایشگاهی تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و تخلخل موثر (روش مستقیم) مرتبط دانست (Samani et al., 2007). به‌طور کلی در تمام زمان‌های پس از شروع زهکشی، مقادیر ارتفاع سطح ایستابی که در آن‌ها از پارامترهای هیدرولیکی حاصل از روش مستقیم استفاده شده بود، بیش‌تر از مقدار واقعی به‌دست آمد و این به دو علت می‌تواند باشد. علت اول، فرض

که  $P_i$  مقدار پیش‌بینی شده  $\bar{O}_i$  مقدار اندازه‌گیری شده  $\bar{O}_i$  مقدار متوسط داده‌های اندازه‌گیری شده،  $n$  تعداد کل مشاهدات، و  $i=1,2,3,\dots,n$  است. در شرایطی که مقادیر ارتفاع سطح ایستابی پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر باشند (بهترین حالت) مقدار آماره‌ها به ترتیب،  $RMSE=0$ ،  $ME=0$ ،  $MAE=0$  و  $EF=1$  خواهد بود.

## نتایج و بحث

### برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل موثر

جدول 1 مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل موثر خاک با استفاده از روش مستقیم (اندازه‌گیری) و روش حل معکوس را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد، اختلاف مابین مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، معادل 2 سانتی‌متر در روز می‌باشد. در مقابل، تفاوت در تعیین پارامتر تخلخل موثر زیاد است.

جدول 1- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل موثر خاک

روش	$\mu(\%)$	K(m.d-1)
مستقیم (اندازه‌گیری)	14	2/06
حل معکوس (برآورد)	8	2/08

### ارزیابی دقت پیش‌بینی

به‌منظور بررسی دقت مدل عددی بوسینسک در پیش‌بینی سطح ایستابی، با استفاده از مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل موثر به‌دست آمده از دو روش مستقیم و معکوس، نیم‌رخ سطح ایستابی در زمان‌های 5 الی 75 دقیقه بعد از شروع زهکشی شبیه‌سازی شد. جدول 2 مقادیر متوسط شاخص‌های آماری شامل  $MAE$ ،  $RMSE$ ،  $ME$  و  $EF$  را نشان می‌دهد.

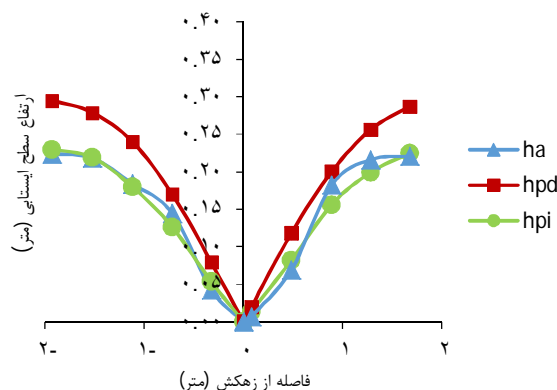
جدول 2- مقادیر آماره‌های پیش‌بینی سطح ایستابی با استفاده از

آماره	مدل عددی بوسینسک	
	روش مستقیم	روش معکوس
RMSE(mm)	47	22
ME (mm)	77	53
MAE (mm)	42	18
EF (%)	71	94

## منابع

- علیزاده، ا. 1382. زهکشی اراضی (طرح و برنامه ریزی سیستم‌های زهکشی در کشاورزی). دانشگاه فردوسی مشهد. 460 صفحه.
- Amor, V.M and Droogers, P. 2002. Inverse modelling in estimating soil hydraulic functions: A genetic algorithm approach. *Hydrology and Earth System Sciences*. 6.1: 49-65.
- Fathi, P., Samani, J and Kouchakzadeh, M. 2006. Prediction of soil hydraulic parameters by inverse method. *Journal of Water and Soil Science*. 1: 1-9.
- Hore, F.R. 1959. *Pizometer methods in ontario*. Agricultural Engineering, pp. 272-278.
- Mahbod, M and Zand-Parsa, S. 2010. Prediction of soil hydraulic parameters by inverse method using genetic algorithm optimization under field conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 56: 13-28.
- Majdalani, S., Angulo-Jaramillo, R and Di Pietro, L. 2008. Estimating preferential water flow parameters using a binary genetic algorithm inverse method. *Environmental Modelling and Software*. 23: 950-956.
- Mao, D., Yeh, T., Wan, L., Hsu, K., Lee, C and Wen, J. 2013. Necessary conditions for inverse modeling of flow through variably saturated porous media. *Advances in Water Resources*. 52: 50-61.
- Minasny, B and Field, D.J. 2005. Estimating soil hydraulic properties and their uncertainty: the use of stochastic simulation in the inverse modelling of the evaporation method. *Geoderma*. 126: 277-290.
- Pandey, R.S., Bhattacharya, A.K., Singh, O.P and Gupta, S.K. 1992. Drawdown solutions with variable drainable porosity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 118: 382-396.
- Ritter, A., Hupet, F., Munoz-Carpena, R., Lambot, S and Vanclouster, M. 2003. Using inverse methods for estimating soil hydraulic properties from field data as an alternative to direct methods. *Agricultural Water Management*. 59: 77-96.
- Samani, J.M.V., Fathi, P and Homaei, M. 2007. Simultaneous Prediction of Saturated Hydraulic Conductivity and Drainable Porosity Using the Inverse Problem Technique. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 133: 110-115.
- Schelle, H., Durner, W., Iden, S.C and Fank, J. 2013. Simultaneous estimation of soil hydraulic and root distribution parameters from lysimeter data by Inverse modeling. *procedia environmental sciences*. 19: 564-573.

افقی بودن سطح ایستابی اولیه در معادلات غیرماندگار می‌باشد. در این حالت، سطح ایستابی در نقاط میانی بین زهکش‌ها با سرعت کمی افت می‌کند و یک زمان تاخیر حادث خواهد شد (Pandey et al., 1992). صرف‌نظر کردن از مولفه عمودی جریان در معادلات غیرماندگار می‌تواند دلیل دیگری بر بیش برآورد نمودن ارتفاع سطح ایستابی نسبت به مقادیر مشاهده‌ای باشد.



شکل 4- نیم‌رخ پیش‌بینی ارتفاع سطح ایستابی در زمان 75 دقیقه پس از شروع زهکشی

## نتیجه‌گیری

روش حل معکوس از کارایی و قابلیت بالایی به‌منظور شبیه‌سازی و بهینه‌سازی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و تخلخل موثر را دارد. نتایج ارزیابی کمی و کیفی نشان داد که با کاربرد پارامترهای هیدرولیکی حاصل از روش حل معکوس در مدل عددی بوسینسک، نیم‌رخ سطح ایستابی مابین دو زهکش، با دقت مناسب‌تری پیش‌بینی خواهد شد. با گذشت زمان از شروع عملیات زهکشی، دقت روش حل معکوس در پیش‌بینی تراز سطح ایستابی افزایش خواهد یافت و در زمان‌های پایانی، پارامترهای هیدرولیکی بهینه شده، برآورد بهتری از سطح ایستابی ارائه می‌نماید. به‌طور کلی انطباق نسبتاً بهتری بین نیم‌رخ‌های سطح ایستابی پیش‌بینی شده با استفاده از روش حل معکوس و داده‌های اندازه‌گیری شده وجود دارد. استفاده از الگوریتم ژنتیک ابزار توانمندی به‌منظور بهینه‌سازی در روش حل معکوس می‌باشد و می‌تواند مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و تخلخل موثر را با دقت بالایی برآورد نماید. پیشنهاد می‌شود بهینه‌سازی فرآیند تخمین با دیگر روش‌های بهینه‌سازی در پژوهش‌های آینده مورد بررسی قرار گیرد.

## Simultaneous Prediction of Saturated Hydraulic Conductivity and Drainable Porosity Using the Inverse Problem Technique and Numerical Solution of the Boussinesq Equation around Subsurface Drainage

M. Bazari Jamkhaneh<sup>1</sup>, M.A. Gholami Sefidkouhi<sup>2\*</sup>, S. Azizpour<sup>3</sup>

Received: Apr.05, 2017

Accepted: May.20, 2017

### Abstract

Saturated hydraulic conductivity and effective porosity are important parameters in groundwater modeling, water movement in the soil and solute transport. This study aimed to evaluate the accuracy of prediction of these two parameters simultaneously using numerical solution of one-dimensional Boussinesq equations governing the unsteady and saturation flow. In the proposed inverse method the genetic algorithm method for optimization and from control volume method for numerical solution of the governing equation are used. In order to collecting the required data a physical model with the length of 4 meters, a width of 2 meters and a height of 1.8 meters was used and the height of water table was read by 20 observation wells embedded in the model in different times. The value of saturated hydraulic conductivity ( $k$ ) and effective porosity ( $\mu$ ) was measured directly. The result showed that genetic algorithm is a powerful tool for optimization of inverse method because in this study saturated hydraulic conductivity and effective porosity were evaluated with a high accuracy. Result showed that the height of water table was predicted with reasonable accuracy by inverse method, so that statistical parameters RMSE, MAE, ME, EF are 22, 18, 53 mm and 94 percent, respectively. The result implies that over time caused the used method has high accuracy so the ability to predict in the end times reverse the first time.

**Keywords:** Control volume, Evaluation, Genetic algorithm, Water table

1-Graduated Student of M.Sc. Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3-PhD student, Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

(\*- Corresponding Author Email: ma.gholami@sanru.ac.ir)