

برآورد توأم هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و تخلخل مؤثر با استفاده از رویکرد مسأله معکوس هوشمند

سهراب عزیزپور^۱، پرویز فتحی^{۱*} و کامران نوبخت وکیلی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۱۴)

چکیده

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (k) و تخلخل مؤثر (f) از جمله مهم‌ترین پارامترها برای شبیه‌سازی فرآیندهای مرتبط با آبیاری، زه‌کشی، هیدرولوژی و آبشویی به شمار می‌روند. روش‌های مستقیم اندازه‌گیری این پارامترها اغلب مشکل، زمان‌بر و پرهزینه می‌باشند. لذا ارائه روشی که موجب برآورد دقیق‌تر این پارامترها شود ضروری است. هدف از این تحقیق برآورد توأم f و k با استفاده از رویکرد مسأله معکوس می‌باشد. در این تحقیق از مدل تحلیلی زه‌کشی گلوور- دام به عنوان مدل شبیه‌سازی در روش مسأله معکوس استفاده شد. هم‌چنین برای یافتن مقادیر بهینه f و k از روش الگوریتم ژنتیک استفاده گردید. به منظور اندازه‌گیری داده‌های لازم برای واسنجی و ارزیابی مدل معکوس هوشمند پیشنهادی یک مدل فیزیکی زه‌کشی طراحی و در آزمایشگاه ساخته شد. مدل معکوس هوشمند تهیه شده در دو حالت با فرض ثابت و متغیر بودن f واسنجی گردید. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی از کارایی و قابلیت بالایی جهت برآورد توأم f و k برخوردار است. هم‌چنین فرض متغیر بودن f خطای پیش‌بینی ارتفاع سطح ایستابی در اطراف زه‌کش را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مدل تحلیلی زه‌کشی، گلوور- دام، بهینه‌سازی، ارتفاع سطح ایستابی

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد و استادیار مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

۲. عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه کردستان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: p.fathi@uok.ac.ir

مقدمه

خصوصیات هیدرودینامیک اشباع از چالش برانگیزترین خصوصیات خاک به شمار می‌روند. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (k) و تخلخل مؤثر (f) از جمله مهم‌ترین پارامترها جهت شبیه‌سازی فرآیندهای مرتبط با آبیاری، زه‌کشی، هیدرولوژی، جریان آب زیرزمینی، آبشویی و سایر فرآیندهای هیدرولوژیکی و کشاورزی به شمار می‌رود (۱). این خصوصیات هم‌چنین به عنوان یک عامل تأثیرگذار در فرآیند حرکت آب و مواد شیمیایی در داخل خاک شناخته شده‌اند (۴ و ۸). اخیراً به دلیل اهمیت زیاد خصوصیات هیدرودینامیک اشباع خاک در پیش‌بینی رفتار آب در خاک، روش‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای مختلفی بسط و توسعه داده شده است. مطالعات مقایسه‌ای صورت گرفته از روش‌های مختلف نشان می‌دهد که دقت برآورد این روش‌ها با تغییر بافت و ساختمان خاک متغیر می‌باشد. علاوه بر این روش‌های مستقیم اندازه‌گیری این پارامترها اغلب مشکل، زمان‌بر، پرهزینه و غیر قابل اعتماد می‌باشند (۶، ۱۴، ۱۶ و ۱۷).

هنوز روش منحصر به فردی که بتواند برای تمامی خاک‌ها و تحت محدوده وسیعی از شرایط، نتایج مطلوبی را به بار آورد، بسط و توسعه داده نشده است (۱۷). بنابراین می‌توان به این نکته پی‌برد که عمل به ظاهر ساده برآورد مقدار میانگین خصوصیات هیدرودینامیک اشباع خاک جهت کاربرد در پروژه‌های مرتبط با علوم آب و خاک یک مسأله پیچیده مهندسی به شمار می‌آید. امروزه با ابداع کامپیوترهای با سرعت و توان محاسباتی بالا می‌توان از روش مسأله معکوس جهت برآورد ویژگی‌های پدیده‌های مختلف مهندسی استفاده نمود (۳). جرح (۵) با ترکیب آزمایش‌های صحرائی و روش مسأله معکوس، تغییرات زمانی و مکانی خصوصیات هیدرولیکی غیراشباع را مورد بررسی و تحقیق قرار داد. در تحقیق وی، نیم‌رخ رطوبتی خاک در ابتدا و انتهای دوره مطالعاتی و هم‌چنین مقادیر نفوذ، تبخیر و بار فشاری در پشت جبهه رطوبتی خاک به طور پیوسته اندازه‌گیری

گردید. سپس با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده و روش معکوس، پارامترهای ثابت معادله رطوبتی ون گنوختن طوری تعیین گردید که اختلاف مقادیر درصد حجمی رطوبتی پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده به حداقل برسد. نتایج نشان داد که روش معکوس مقادیر معقولی از درصد حجمی رطوبت اشباع در یک خاک لایه‌ای رسی را پیش‌بینی می‌نماید. ریترو همکاران (۱۲) خصوصیات هیدرولیکی غیراشباع خاک را با استفاده از تغییرات رطوبتی اندازه‌گیری شده و روش مسأله معکوس برآورد نمودند. در این تحقیق، تغییرات زمانی رطوبت حجمی در سه عمق مختلف خاک بعد از آبیاری اندازه‌گیری گردید و از آن به عنوان معیار جهت پیش‌بینی خصوصیات غیراشباع خاک استفاده شد.

میناسنی و فیلد (۹) از روش شبیه‌سازی تصادفی (Stochastic simulation) در رویکرد مدل‌سازی معکوس فرآیند تبخیر جهت تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک و تحلیل عدم قطعیت آن بهره جستند. نتایج نشان داد که روش مذکور می‌تواند تخمین‌هایی از مقادیر خصوصیات هیدرولیکی خاک به همراه عدم قطعیت آنها را فراهم سازد. شوارتز و اوت (۱۳) با استفاده از روش نفوذ سنج دیسکی، خصوصیات هیدرولیکی غیراشباع را برآورد نمودند. آنها تأکید کردند که روش معکوس ابزاری اقتصادی در استنتاج خصوصیات هیدرولیکی براساس اندازه‌گیری مزرعه‌ای نفوذ می‌باشد. امور و همکاران (۲) روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک را جهت تخمین معکوس توابع هیدرولیکی خاک به کار بردند. نتایج نشان داد که رویکرد الگوریتم ژنتیک ابزار توانمندی جهت کاربرد در مسایل معکوس در نواحی غیراشباع خاک به شمار می‌آید. با توجه به اهمیت خصوصیات هیدرودینامیک اشباع خاک و معایب و محدودیت‌های روش‌های اندازه‌گیری مزرعه‌ای و آزمایشگاهی، ارائه روشی که جهت برآورد توأم و دقیق‌تر این پارامترها ضروری است. هدف از این تحقیق، برآورد توأم k و f با استفاده از رویکرد مسأله معکوس می‌باشد.

مواد و روش‌ها

بسط مدل معکوس هوشمند

روش مسأله معکوس از دو قسمت مدل شبیه‌سازی و الگوریتم بهینه‌سازی تشکیل می‌شود. کیفیت و دقت تخمین پارامترها بستگی به این ترکیب منحصر به فرد و هم‌چنین ترکیب آنها با محیط محاسباتی مناسب دارد. نوسانات سطح ایستابی در اطراف زه‌کش تابعی از هدایت آبی اشباع و تخلخل مؤثر خاک می‌باشد. شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی در اطراف زه‌کش، اولین و مهم‌ترین قدم برای استفاده از روش مسأله معکوس در پیش‌بینی خصوصیات هیدرودینامیک خاک است. در این تحقیق، از مدل تحلیلی زه‌کشی گلوور- دام (معادله ۱)، به عنوان مدل شبیه‌سازی جهت پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی در اطراف زه‌کش استفاده گردید:

$$h_c(x, t) = \frac{4h}{\pi} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-n^2 at} \sin\left(\frac{n\pi x}{l}\right) \quad [1]$$

که در آن a برابر $\frac{\pi^2 KD}{fl^2}$ ، h_c ارتفاع سطح ایستابی افقی اولیه (در زمان صفر) در بالای سطح آب در زه‌کش‌ها (متر)، L فاصله بین زه‌کش‌ها (متر)، D عمق متوسط جریان (متر) که برابر با $d_e + \frac{h_0}{2}$ می‌باشد، d_e عمق معادل جریان، f تخلخل مؤثر، K هدایت آبی اشباع (متر بر ثانیه)، x فاصله از زه‌کش، t زمان از شروع زه‌کشی (ثانیه)، $h_c(x, t)$ ارتفاع سطح ایستابی (متر) در فاصله x و زمان t است. در روش مسأله معکوس، تعیین پارامترهای بهینه توسط یک الگوریتم بهینه‌سازی صورت می‌گیرد. در این تحقیق جهت یافتن مقادیر بهینه k و f از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شد. کروموزوم‌های به کارگرفته شده در الگوریتم ژنتیک شامل ژن‌هایی به تعداد پارامترهای بهینه‌سازی شده هستند. هم‌چنین جمعیت اولیه با تخصیص مقادیر تصادفی مجاز به پارامترهای بهینه‌سازی (f و k) تشکیل گردید. جهت انجام عملگر ترکیب از جابجایی تک نقطه‌ای (Single Point Crossover) و برای رهایی بخشیدن الگوریتم جستجوگر از نقطه مینیمم محلی، عملگر جهش (Mutation) انجام شد. هم‌چنین از مکانیسم

نخبه‌گرایی (Elitism selection) جهت به وجود آوردن جمعیت مورد نیاز در تکرارهای محاسباتی بعدی استفاده گردید. تابع هدف مورد استفاده جهت بهینه‌سازی به صورت معادله ۲ می‌باشد.

$$F = \sum_{i=1}^n (h_e - h_c)^2 \quad [2]$$

که در آن h_e ارتفاع سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در بالای زه‌کش‌ها، h_c ارتفاع سطح ایستابی پیش‌بینی شده در بالای زه‌کش در هر نقطه و در هر زمان به وسیله مدل‌های تحلیلی زه‌کشی و n تعداد نقاط اندازه‌گیری شده است.

داده‌های مورد نیاز

برای اندازه‌گیری داده‌های سطح ایستابی در مکان‌ها و زمان‌های مختلف، یک مدل فیزیکی زه‌کشی طراحی و ساخته شد. این مدل فیزیکی زه‌کش دارای ۲ متر طول، ۰/۵ متر عرض و ۱ متر ارتفاع بود. یک لوله زه‌کشی پوشش دار به قطر ۱۰ سانتی‌متر در یکی از دو انتهای طولی و به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از کف مدل و دیواره جانبی نصب گردید. تعدادی پیرومتر به قطر ۱ سانتی‌متر و به فواصل مناسب در راستای طولی مدل جهت قرائت نوسانات سطح ایستابی نصب شد. خاک انتخابی از الک ۲ میلی‌متری رد شد تا نسبتاً همگن شود (شکل ۱). برای آماده‌سازی مدل فیزیکی، در داخل مدل زه‌کشی به صورت لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری تا ارتفاع ۷۰ سانتی‌متری بالای لوله زه‌کش از خاک پر گردید. در مرحله اشباع نمودن، جهت جلوگیری از حبس شدن هوا در داخل خاک ریخته شده، مدل از زیر و توسط شیر تعبیه شده در کف به صورت تدریجی از آب اشباع شد. سپس مدل به مدت چند هفته رها شد تا خاک حالت طبیعی تری برای انجام آزمایش پیدا نماید. با شروع عمل زه‌کشی نیمرخ‌های سطح ایستابی در فواصل زمانی ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه از شروع زه‌کشی، توسط پیرومترهای نصب شده در طول دیواره طولی ثبت و اندازه‌گیری گردید. هم‌چنین میزان هدایت هیدرولیکی خاک از روش زه آب خروجی 0.36 m/day و میزان تخلخل خاک $0.35 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$ به دست آمد.



شکل ۱. مدل زه‌کشی تهیه شده

طول، عرض و ارتفاع مدل به ترتیب ۴/۹۳، ۱ و ۲/۱۰ متر بود. لوله‌ای از جنس PVC با ۱/۵ درصد سطح سوراخ شدگی و قطر ۸ سانتی‌متر، به عنوان زه‌کش در داخل مدل نصب گردید. هم‌چنین مقادیر k از روش‌های چاهک و چاهک معکوس و f به روش تیلور (۱۵) اندازه‌گیری شد.

واسنجی مدل‌های معکوس هوشمند

در تحقیق حاضر از بخشی از داده‌ها جهت واسنجی مدل‌های معکوس هوشمند پیشنهادی استفاده گردید. مدل‌های معکوس هوشمند پیشنهادی در دو حالت واسنجی زیر واسنجی گردیدند: الف) با فرض این‌که مقدار f خاک ثابت بوده و به ارتفاع از سطح ایستابی بستگی ندارد.

ب) با فرض این‌که f خاک تابعی از ارتفاع سطح ایستابی باشد. در حالت (ب) از تابع پیشنهادی پندی و همکاران (۱۱) استفاده شد. شیوه انجام کار در این حالت بدین ترتیب بود که ابتدا مقادیری برای K ، f_0 ، a^* و b حدس زده شد. سپس برای شروع، \bar{h} برابر با h_t در نظر گرفته شد و براساس مقادیر حدسی مرحله قبل مقدار f از رابطه ۳ محاسبه گردید. سپس، برای Δt مقادیر $h_{t+\Delta t}$ از معادلات تحلیلی زه‌کشی محاسبه شد. آنگاه مقادیر $\bar{h} = \frac{h_t + h_{t+\Delta t}}{2}$ محاسبه و با استفاده از رابطه ۳، f جدید به دست آمد. آنگاه مجدداً برای Δt مقادیر $h_{t+\Delta t}$

برای برآورد تابع تخلخل مؤثر خاک از تابع پیشنهادی پندی و همکاران (۱۱) استفاده گردید. بدین ترتیب تغییرات تخلخل قابل زه‌کشی نسبت به ارتفاع سطح ایستابی به دست آمد. آنها برای ارتباط تخلخل قابل زه‌کشی و سطح ایستابی معادله ۳ را پیشنهاد نمودند:

$$\frac{f}{f_0} = \left[1 - \frac{\frac{a^* \cdot \bar{h}}{h_0}}{1 - \frac{\bar{h}}{h_0} + \frac{h_0}{b}} \right] \quad [3]$$

که در آن \bar{h} متوسط سطح ایستابی در دو زمان متوالی h_t و $h_{t+\Delta t}$ ، f_0 تخلخل مؤثر خاک هنگامی که سطح ایستابی در عمق زه‌کش قرار گرفته است و f تخلخل قابل زه‌کشی خاک در سطح ایستابی (h) ، h_0 ارتفاع سطح ایستابی در زمان صفر و a^* و b دو ثابت تجربی می‌باشند. این معادله به این دلیل انتخاب شده است که با در نظر گرفتن مقادیر مناسبی برای a^* و b می‌توان انطباق خوبی مابین تخلخل مؤثر محاسبه شده و آزمایشگاهی برای خاک‌های مختلف ایجاد نمود (۱۱). با برازش معادله ۳ بر داده‌ها، مقادیر پارامترهای f_0 ، a^* و b به ترتیب ۰/۳۸۹، ۰/۹ و ۰/۹ به دست آمد. برای ارزیابی بیشتر مدل‌های معکوس هوشمند، از اطلاعات و داده‌های ارائه شده توسط پندی و همکاران (۱۱) نیز استفاده شد. آنها با استفاده از یک تانک ماسه، نیمرخ سطح ایستابی، k و f را اندازه‌گیری نمودند.

جدول ۱. مقادیر k و f پیش‌بینی شده به وسیله مدل معکوس هوشمند با داده‌های اندازه‌گیری شده

f متغیر				f ثابت		
B	a	f_0 ($\frac{m^3}{m^3}$)	K (m/day)	f ($\frac{m^3}{m^3}$)	K (m/day)	
۰/۹	۰/۹	۰/۰۳۸۹	۰/۳۶	۰/۰۳۵	۰/۳۶	اندازه‌گیری شده
۰/۹۹	۰/۹۴۴۲	۰/۰۳۰۱	۰/۴۹۴۱	۰/۰۳	۰/۵	گلوور دام

جدول ۲. مقادیر k و f پیش‌بینی شده به وسیله مدل معکوس هوشمند با استفاده از داده‌های پندی و همکاران (۱۱)

f متغیر				f ثابت		
B	a	f_0 ($\frac{m^3}{m^3}$)	K (m/day)	f ($\frac{m^3}{m^3}$)	K (m/day)	
۰/۶	۰/۸	۰/۰۴۸	۰/۰۳۷۵	۰/۰۳۱	۰/۰۳۷۵	اندازه‌گیری شده
۰/۵۹	۰/۷۹	۰/۰۴	۰/۰۴۹	۰/۰۲۴۷	۰/۰۴	گلوور دام

سطح ایستابی در زمان‌های ۲،۴ و ۶ روز از شروع زه‌کشی استفاده شد. نتایج واسنجی در دو حالت f ثابت و متغیر در جدول ۲ قید گردیده است.

ارزیابی دقت مدل

ارزیابی کمی

برای ارزیابی مقادیر خصوصیات هیدرودینامیک برآوردی از مدل‌های مختلف، از سایر داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و نیز سایر داده‌های ارائه شده توسط پندی و همکاران (۱۱) استفاده گردید. برای ارزیابی مدل‌های مختلف از شاخص آماری مقدار جذر میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (RMSE) استفاده شد. بیان ریاضی این آماره به صورت زیر است:

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (h_i^c - h_i^m)^2}{n} \right)^{1/2} \quad [۴]$$

از معادلات تحلیلی زه‌کشی محاسبه و این مراحل آنقدر تکرار شد تا همگرایی بین داده‌ها به دست آمد. به همین ترتیب این کار برای Δt های دیگر ادامه یافت. سرانجام مدل معکوس هوشمند مقادیر k ، f_0 ، a^* و b را چنان تعیین نمود که مقادیر تابع هدف حداقل شود.

نتایج و بحث

واسنجی با استفاده از داده‌های تهیه شده در آزمایشگاه

در این قسمت، از داده‌های ارتفاع سطح ایستابی در زمان‌های ۲۰،۴۰، ۹۰ و ۱۸۰ دقیقه جهت واسنجی مدل‌های معکوس هوشمند، با فرض ثابت و متغیر بودن f ، استفاده گردید. نتایج واسنجی در جدول ۱ آورده شده است.

واسنجی با استفاده از داده‌های پندی و همکاران (۱۱)

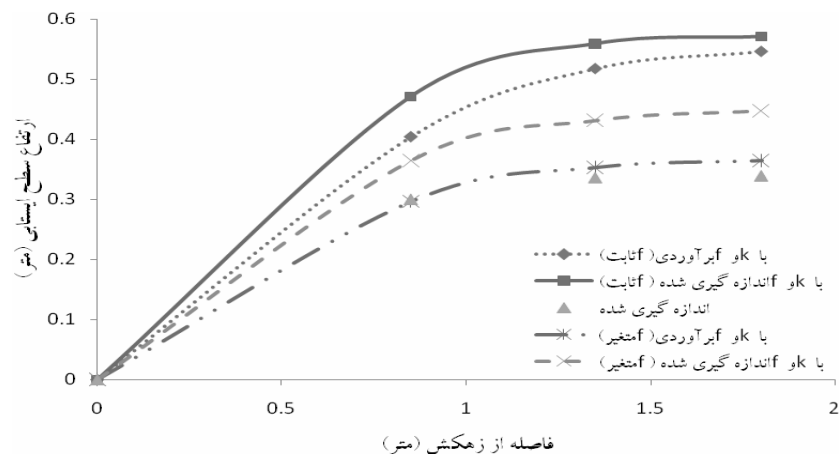
برای واسنجی مدل‌های معکوس هوشمند، از داده‌های ارتفاع

جدول ۳. مقادیر جذر میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (RMSE) سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و برآوردی از روش مسأله معکوس هوشمند

f متغیر		f ثابت		گلوور دام
برآوردی	اندازه‌گیری شده	برآوردی	اندازه‌گیری شده	
۰/۰۳۱۸	۰/۰۹۴۹	۰/۱۶۰۲	۰/۲۰۲۸	

جدول ۴. مقادیر جذر میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (RMSE) سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و برآوردی از روش مسأله معکوس هوشمند با استفاده از داده‌های پندی و همکاران (۱۱)

f متغیر		f ثابت		گلوور دام
برآوردی	اندازه‌گیری شده	برآوردی	اندازه‌گیری شده	
۰/۰۲۰۳	۰/۱۲۱۱	۰/۰۹۲۷	۰/۱۴۸۵	

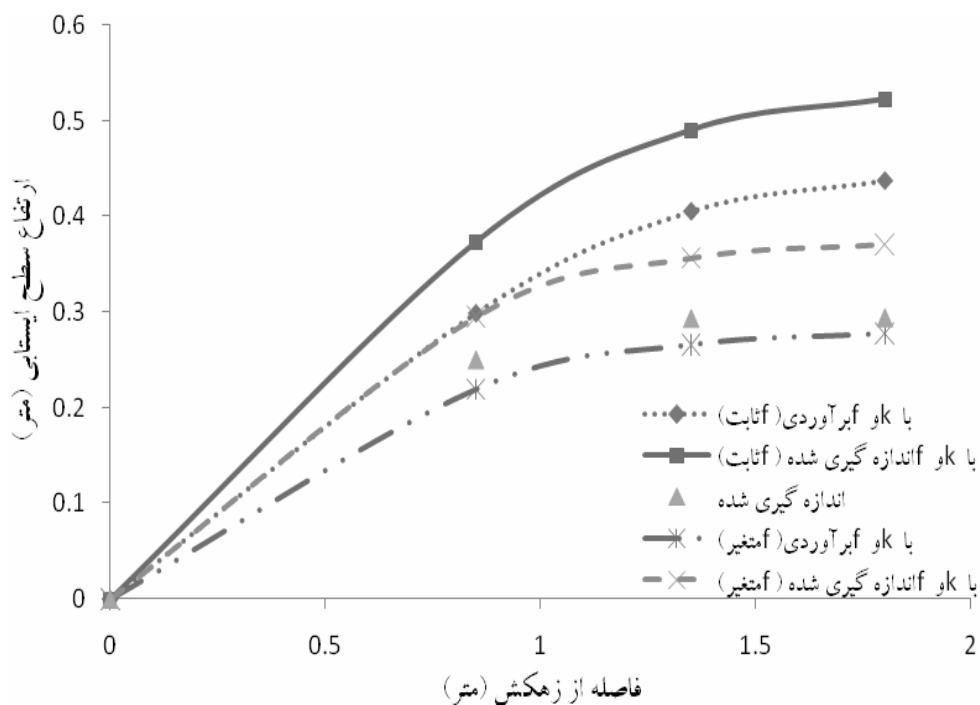


شکل ۱. نیمرخ‌های سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در زمان ۶۰ دقیقه از شروع زه‌کشی برای داده‌های آزمایشگاهی

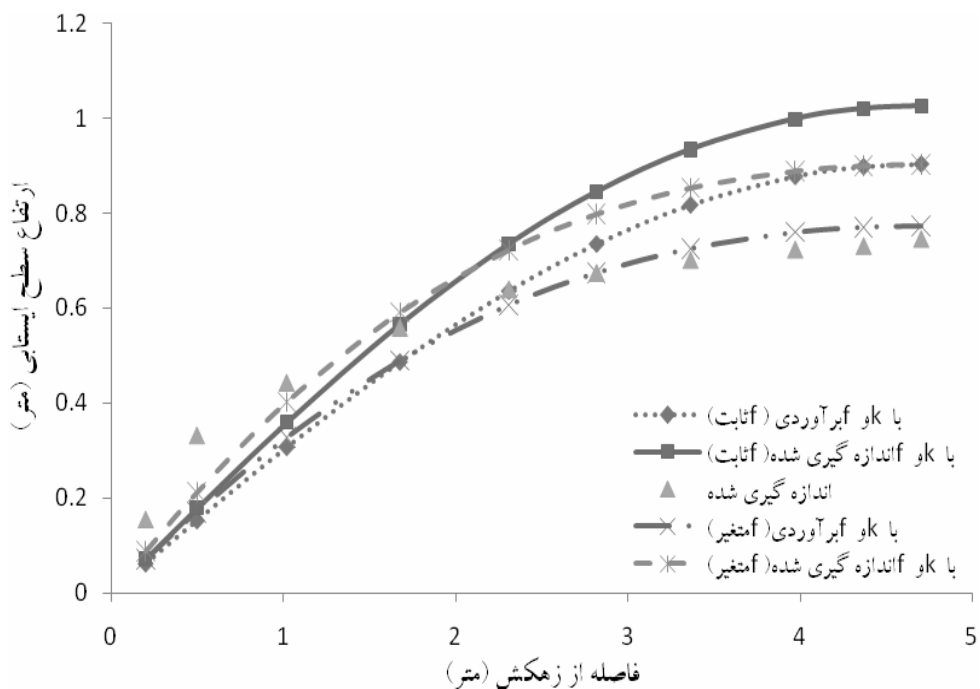
ارزیابی کیفی

برای درک و فهم بهتر نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف نیمرخ سطح ایستابی اندازه‌گیری شده به همراه نیمرخ‌های سطح ایستابی پیش‌بینی شده به ازای مقادیر آزمایشگاهی و برآوردی k و f در دو حالت f ثابت و متغیر، به صورت شکل‌های ۱ تا ۴ ترسیم شده است.

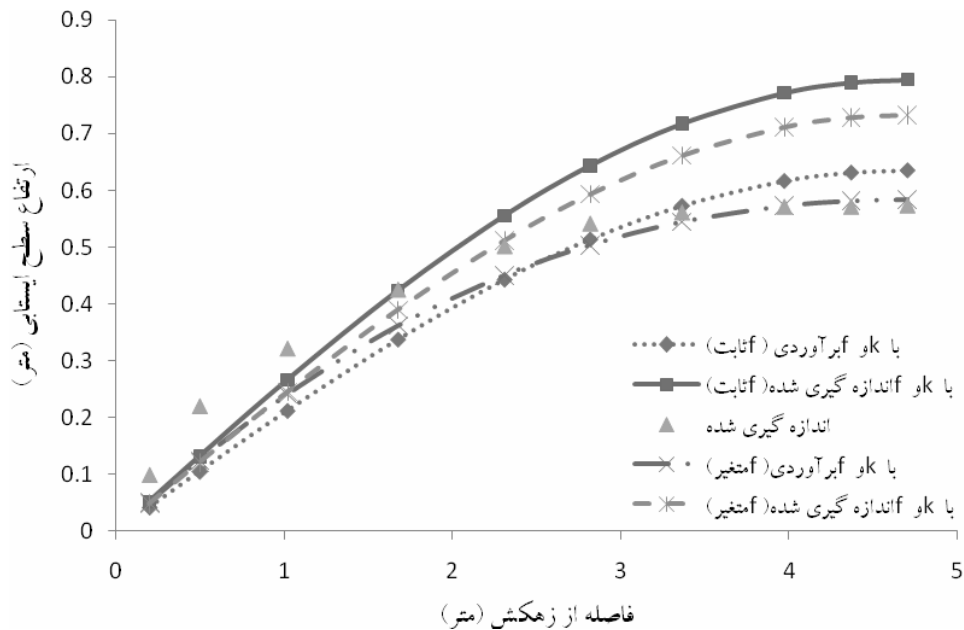
که در آن h_i^m ارتفاع سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در بالای زه‌کش، h_i^c ارتفاع سطح ایستابی محاسبه شده در بالای زه‌کش در هر نقطه و در هر زمان به وسیله مدل‌های معکوس هوشمند و n تعداد نقاط اندازه‌گیری شده است. مقادیر شاخص RMSE ارزیابی برای داده‌های آزمایشگاهی در جدول ۳ و برای داده‌های پندی و همکاران (۱۱) در جدول ۴ قید گردیده است.



شکل ۲. نیمرخ‌های سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در زمان ۱۲۰ دقیقه از شروع زه‌کشی برای داده‌های آزمایشگاهی



شکل ۳. نیمرخ‌های سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در زمان ۳ روز از شروع زه‌کشی برای داده‌های پندی و همکاران (۱۱)



شکل ۴. نیمرخ‌های سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در زمان ۵ روز از شروع زه‌کشی برای داده‌های پندی و همکاران (۱۱)

نتیجه‌گیری

برآوردی لحاظ می‌گردد. هم‌چنین شبیه‌سازی ریاضی واقعی‌تر جریان به طرف زه‌کش‌ها باعث برآورد دقیق‌تر خصوصیات هیدرودینامیک اشباع خاک می‌گردد. مشاهده این شکل‌ها نشان می‌دهد که در تمامی زمان‌ها فرض متغیر بودن f خطای پیش‌بینی ارتفاع سطح ایستابی در اطراف زه‌کش را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. این امر نشان می‌دهد که f خاک اطراف زه‌کش‌ها ثابت نبوده و تابعی از ارتفاع سطح ایستابی می‌باشد. این نتیجه هم‌سو با یافته‌های محققانی نظیر پندی و همکاران (۱۱) و چیئنگ (۴) است.

بررسی شکل‌های ۱ تا ۴ و جداول ۳ و ۴ نشان می‌دهد که روش مسأله معکوس از کارایی و قابلیت بالایی جهت برآورد k و f برخوردار می‌باشد و نیمرخ‌های سطح ایستابی پیش‌بینی شده به ازای مقادیر برآوردی نسبت به مقادیر آزمایشگاهی دقیق‌تر است. دلیل این امر را می‌توان این مطلب دانست که در روش مسأله معکوس، خصوصیتی نظیر دو بعدی بودن جریان، ناهمگنی و غیرهمسان بودن خاک و خطای اندازه‌گیری عمق معادل و غیره، به‌طور غیرمستقیم در مقادیر پارامترهای

منابع مورد استفاده

1. Aimrun, W., M.S.M. Amin and S.M. Eltaib. 2004. Effective porosity of paddy soils as an estimation of its saturated hydraulic conductivity. *Geoderma*. 121: 197–203.
2. Amor, V.M. and P. Droogers 2002. Inverse modelling in estimating soil hydraulic functions: A genetic algorithm approach. *Hydrol. and Earth Sys. Sci.* 6(1): 49-65.
3. Bohne, K. and W. Salzman. 2002. Inverse simulation of non-steady-state evaporation using nonequilibrium water retention data: A case study. *Geoderma* 110: 49– 62.
4. Chieng, S.T. 1975. The effect of sub-surface drainage depth and drainage rates on water level. MSc. Thesis, McGill University, Montreal, Quebec, Canada.
5. Greg, A. 2003. Temporal and spatial(down profile) variability of unsaturated soil hydraulic properties determined from a combination of repeated field experiments and inverse modeling. *J. Hydrol.* 281: 23–35.

6. Han, H., D. Giménez and A. Lilly. 2008. Textural averages of saturated soil hydraulic conductivity predicted from water retention data. *Geoderma* 146: 121–128.
7. Jadczyzyn, J. and J. Niedźwiecki. 2005. Relation of saturated hydraulic conductivity to soil losses. *Polish J. Environ. Stud.* 14: 431-435.
8. Kumar, A. and R.S. Kanwar. 1994. Modelling spatial variability of saturated hydraulic conductivity using Fourier series analysis. *J. des Scie. Hydrol.* 39: 75-94.
9. Minasny, B. and D.J. Field. 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.
10. Pazira, E., M. Akram and A. Lotfi. 2003. Drainage theories and models. Working group on "Drainage", No. 70, pp. 188. (In: Farsi).
11. Pandey, R.S., A.K. Bhattacharya, O.P. Singh and S.K. Gupta. 1992. Drawdown solution with variable drainage porosity. *J. Irrig. and Drain.* 118(3): 382-396.
12. Ritter, A., F. Hupet, R. Carpena, S. Lambot and M. van Clooster. 2003. Using inverse methods for estimating soil hydraulic properties from field data as an alternative to the direct methods. *Agric. Water Manage.* 59: 77-96.
13. Schwartz, R.C. and S.R. Evett. 2002. Estimation hydraulic properties of a fine-textured soil using a disc infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 66(5): 1409-1241.
14. Sepaskhah, A.R. and J. Ataee. 2004. A simple model to determine saturated hydraulic conductivity for large-scale subsurface drainage. *Biosyst. Eng.* 89(4): 505–513.
15. Taylor, G. S. 1960. Drainage porosity Evaluations from outflow measurements and its use in drawdown equation. *Soil Sci.* 90(60): 338 – 343.
16. Yang, C.C., C.L. Chang, C.S. Chen and M.S. Yeh. 2009. Multi-objective planning for conjunctive use of surface and subsurface water using genetic algorithm and dynamics programming. *Water Resour. Manag.* 23: 417-437.
17. Zhang, S., L. Lövdahl, H. Grip and Y. Tong. 2007. Soil hydraulic properties of two loess soils in China measured by various field-scale and laboratory methods. *Catena* 69: 264–273.

Simultaneous Estimation of Soil Saturated Hydraulic Conductivity and Effective Porosity Using Intelligent Inverse Problem Approach

S. Azizpour¹, P. Fathi^{1*} and K. Nobakht-Vakili²

(Received : Nov. 8-2010 ; Accepted : Nov. 4-2011)

Abstract

Soil saturated hydraulic conductivity (k) and effective porosity (f) are the most important parameters to simulate the processes associated with irrigation, drainage, hydrology, leaching and other agricultural and hydrological processes. Present methods to measure these parameters are often difficult, time consuming and costly. Therefore, a method which provides more accurate estimates of these parameters is essential and is considered inevitable. The purpose of this study was simultaneous estimation of k and f using approach inverse problem. In this study, analytical drainage model of Glover-Dam was used to simulate the inverse problem method. Also, genetic algorithm was used as an optimization technique for determination of optimal values of k and f . In order to measure the data required for calibration and evaluation of the proposed inverse problem model, a physical model was designed and constructed in the laboratory. The results showed that the proposed method is good for simultaneously estimating simultaneous soil k and f . Also with variable f assumption, the prediction error of water table around the drainage was reduced significantly.

Keywords: Analytical drainage model, Glover-Dam, Optimization, Water table.

1. Former MSc. Student and Assis. Prof. of Water Eng., Respectively, College of Agric., Univ. of Kurdistan, Kurdistan, Iran.

2. Scientific Member of Civil Eng., College of Eng., Kordistan Univ., Kordistan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: p.fathi@uok.ac.ir