

بررسی تأثیر استفاده مجدد آب زهکشی شور بر روی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک با روش معکوس (مطالعه موردی: دشت مغان)

علی رسولزاده^{۱*} و ندا نصیری^۲

^۱ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
^۲ فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

چکیده

کمبود منابع آب با کیفیت مطلوب موضوع حائز اهمیت در مناطق خشک و نیمه خشک بوده لذا استفاده از منابع آب با کیفیت نامطلوب مانند زه‌آب‌ها از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. در این تحقیق تأثیر استفاده مجدد از آب زهکشی شور بر روی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک دشت مغان مطالعه گردید. این پژوهش با سه تیمار شامل تیمار ۱ شاهد (آبیاری با آب کانال)، تیمار ۲ (اختلاط ۳۰٪ زه‌آب با ۷۰٪ آب کانال) و تیمار ۳ (اختلاط ۵۰٪ زه‌آب با ۵۰٪ آب کانال)، در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نمونه خاک دست نخورده، توسط استوانه‌هایی به ارتفاع ۵۰ سانتیمتر و قطر حدود ۳۰ سانتیمتر برداشته شد. پس از یک سال آبیاری تیمارها، ویژگی‌های هیدرولیکی خاک با روش معکوس برآورد گردید. روش معکوس استفاده شده، بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی لونیبرگ-مارکوارت بوده و برای تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در شرایط غیرماندگار با زبان برنامه‌نویسی ++C نوشته شده و همراه با مدل پیشرو HydroGeoSphere به عنوان کد عددی استفاده گردید. در بالای ستون خاک با استفاده از یک منبع متصل به باران‌ساز که قطرات آب تولید می‌کرد، بارش مصنوعی ایجاد گردید. میزان زهکشی آزاد، از انتهای ستون خاک جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. با توجه به بارش و زهکشی اندازه‌گیری شده، با روش معکوس هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) و پارامترهای منحنی مشخصه آب خاک و ن‌گن‌وختن (α ، β و θ_r) که پارامترهای مجهول در محیط متخلخل غیراشباع می‌باشند، برآورد گردید. نتایج اعتبار سنجی نشان داد ویژگی‌های هیدرولیکی برآورد شده از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشند. نتایج تجزیه آماری نشان داد بیشترین حساسیت روش معکوس به پارامتر β نسبت به سایر پارامترها می‌باشد. استفاده از آب زهکشی، سبب کاهش معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع در تیمار سوم شده درحالی که اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای اول و دوم در سطح ۵ درصد مشاهده نگردید. نتایج نشان داد که آبیاری با آب زهکشی در تیمارهای مختلف، سبب اختلاف معنی‌دار در ویژگی‌های معادله و ن‌گن‌وختن در سطح ۵ درصد نشد. نتایج نشان داد استفاده از آب زهکشی پس از یک سال سبب کاهش معنی‌دار هدایت هیدرولیکی در سطح ۵ درصد در تیمار با نسبت اختلاط ۵۰ درصد با آب کانال در مقایسه با شاهد شده است؛ اما در تیمار با نسبت اختلاط ۷۰ درصد با آب کانال تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک رسی در منطقه مورد مطالعه نداشت.

واژگان کلیدی: زه‌آب، HydroGeoSphere، منحنی مشخصه آب خاک، هدایت هیدرولیکی خاک.

۱- مقدمه

ساختمان خاک را تخریب می‌کنند. اما چنانچه بتوان آب‌های شور زهکشی شده را به نسبت مناسب رقیق نمود، به طوری که بتوان اثرات سوء یون‌هایی مانند سدیم را تقلیل داد، می‌توان از آن‌ها به منظور آبیاری مزارع استفاده کرد، بدون آن که صدمه‌ای به خاک وارد گردد. برای این منظور نیاز به بررسی اثر استفاده آب شور رقیق شده با درصد‌های مختلف نمک، بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک می‌باشد. اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی خاک (منحنی مشخصه آب خاک و هدایت هیدرولیکی) زمان‌بر و پرهزینه می‌باشند. علاوه بر آن، به علت کوچک بودن نمونه اندازه‌گیری شده، نتایج به دست آمده دقیق نمی‌باشند. لذا با توجه به موارد ذکر شده، برای تعیین ویژگی‌های هیدرولیکی از

زهکش دشت مغان یکی از بزرگترین زهکش‌های استان اردبیل به شمار می‌رود. زه‌آب خروجی کانال‌های زهکشی این مزارع به مقدار فراوان از دسترس خارج می‌شود که اگر بتوان آن را با مدیریت صحیح به مزارع بازگرداند و به منظور آبیاری استفاده نمود می‌تواند کمک شایانی به حل مشکل کم آبی نماید. اما این آب‌های زهکشی شده به دلیل شستشوی نمک‌ها و املاح موجود در خاک دارای شوری زیادی می‌باشند که در صورت استفاده مجدد از این آب‌ها باید مقدار شوری و تأثیر آن بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک بررسی شود. آب‌های شور به مرور زمان باعث کاهش نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی خاک شده و

عباسی و همکاران [۷]، ویژگی‌های هیدرولیکی و ویژگی‌های انتقال املاح در خاک را در چند جویچه آبیاری، در شرایط مزرعه‌ای به صورت دو بعدی و تحت شرایط غیر ماندگار تخمین زدند. نتایج نشان دادند که تطابق داده‌های نفوذ اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده توسط مدل معکوس رضایت‌بخش می‌باشد. ذاکری‌نیا و همکاران [۸]، با استفاده از روش معکوس، تغییرات هدایت هیدرولیکی خاک را بررسی کردند. در این تحقیق، برای بررسی تغییرات زمانی ویژگی هیدرولیکی خاک لوم رسی در اثر آبیاری با آب شور و سدیمی، ده نوبت آبیاری اجرا و سه آزمایش نفوذپذیری به ترتیب در آبیاری سوم، ششم و دهم انجام شد. این محققین بیان کردند در صورت وجود داده‌های کافی روش معکوس می‌تواند روشی مناسب برای برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی و تغییرات زمانی آن‌ها باشد.

محدودیت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران که میزان بارندگی آن اندک می‌باشد، بسیار جدی است. لذا استفاده مجدد از آب‌های شور مانند زه‌آب خروجی کانال‌های زهکشی مزارع در کشاورزی، هر روز اهمیت بیشتری یافته و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. تاکنون اطلاعات کمی در زمینه قابلیت استفاده آب خروجی زهکش‌های دشت مغان و تأثیرات آن روی خصوصیات خاک در دسترس نمی‌باشد. بنابر این در این تحقیق زه‌آب دشت مغان به صورت اختلاط با آب کانال در سه تیمار و سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد استفاده قرار گرفت و اثرات آن بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک با استفاده از روش معکوس بررسی گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت محل نمونه‌برداری و نحوه برداشت نمونه‌ها

دشت مغان در شمال استان اردبیل قرار داشته و پارس‌آباد در مرکز جلگه مغان قرار دارد که عموماً به صورت هموار می‌باشد. در این مطالعه نمونه خاک دست نخورده با بافت رسی توسط ۹ عدد استوانه فلزی به ارتفاع ۵۰ سانتیمتر و قطر حدود ۳۰ سانتیمتر (شکل (۱-الف)) از اراضی دانشکده کشاورزی مغان واقع در روستای اسلام آباد قدیم پارس‌آباد، واقع در مختصات جغرافیایی $39^{\circ} 35' 19'' N$ و $47^{\circ} 42' 12'' E$ تهیه شد. انتهای استوانه لبه تیز بوده و از آن برای تهیه نمونه دست نخورده استفاده گردید.

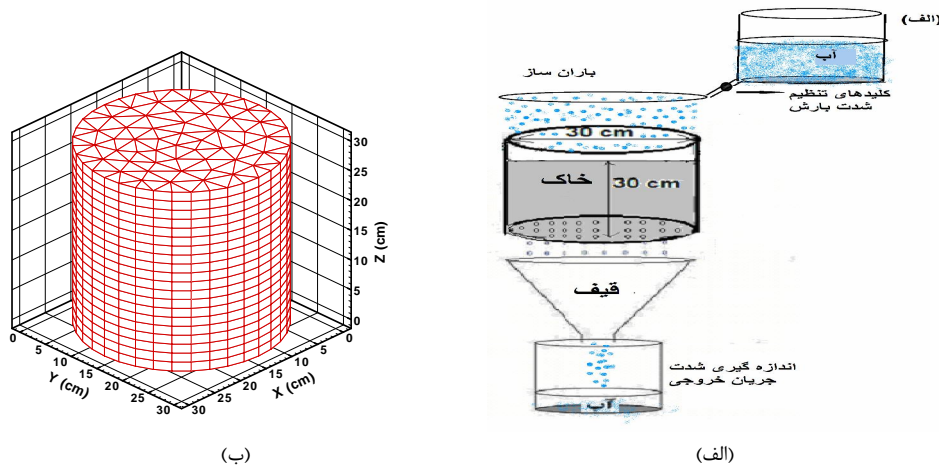
روش معکوس استفاده می‌شود. این روش از طریق بهینه‌سازی و با حداقل کردن تابع هدف^۱ قادر به تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک می‌باشد. به طوری که نتایج آن را می‌توان برای کل پروفیل خاک به عنوان یک مقدار متوسط تعمیم داد. در حالی که نتایج اندازه‌گیری‌های موضعی، منحصر به همان نقاط اندازه‌گیری شده می‌باشد [۱]. علاوه بر این در روش مذکور، اطلاعاتی در مورد اثرات متقابل ویژگی‌های هیدرولیکی، و همچنین اطلاعاتی نیز در مورد عدم اطمینان و همبستگی بین ویژگی‌ها ارائه می‌شود [۲ و ۳].

از طرف دیگر، جهت مدل‌سازی حرکت آب در خاک، نیاز به منحنی مشخصه آب خاک می‌باشد که به دلیل پدیده پس‌ماند^۲ این منحنی منحصر به فرد نبوده و با دستگاه صفحات فشاری فقط شاخه واجذب (دفع آب) به دست می‌آید. در حالی که در روش معکوس با ساختن مدل آزمایشگاهی با ابعاد بزرگ‌تر، شرایط واقعی تری حاکم بوده و منحنی مشخصه در حالتی که آب در خاک در حال حرکت است برآورد می‌گردد.

Inoue و همکاران [۴]، برای تخمین توأمان ویژگی‌های هیدرولیکی و انتقال املاح از روش معکوس استفاده کردند. نتایج نشان داد استفاده از جریان غیر ماندگار و داده‌های انتقال جرم برای تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی و انتقال املاح در خاک منجر به صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در وقت و هزینه می‌گردد. Ramus و همکاران [۵]، برای تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی، چهار نوع خاک دارای بافت‌های متوسط تا درشت، با دو روش اندازه‌گیری مستقیم در آزمایشگاه و روش معکوس ویژگی‌های معادله معلم-ون گنوختن را به دست آورده و با هم مقایسه کردند. در روش معکوس از کد هایدروس دو بعدی^۳ برای تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی استفاده نمودند. آنان طی تحقیقات خود مشاهده نمودند که همبستگی مطلوبی بین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در دو روش اندازه‌گیری و حل معکوس وجود دارد.

Majdalani و همکاران [۶]، به روش معکوس و با استفاده از الگوریتم ژنتیک ویژگی‌های انتقال جریان ترجیحی آب^۴ در خاک غیر اشباع را تخمین زدند و بیان کردند که الگوریتم ژنتیک روش مناسبی برای شبیه‌سازی جریان ترجیحی آب در خاک، تحت شرایط غیر اشباع می‌باشد.

1- Objective function
2- Hysteresis
3- Hydrus -2D
4- Preferential water flow



شکل ۱- الف) مدل آزمایشگاهی حین انجام آزمایش زهکشی، ب) شبکه بندی مدل آزمایشگاهی

منظور در نظر گرفتن اثر بارندگی، مطابق مقادیر متوسط بارندگی منطقه مورد مطالعه آب مقطر به تیمارها اضافه گردید.

۲-۴- مدل عددی

جهت برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک‌ها از روش معکوس براساس الگوریتم لونیبرگ-مارگوارت^۱ استفاده شد. این مدل با زبان برنامه نویسی ++C طراحی شده و همراه با مدل عددی HydroGeoSphere به عنوان مدل پیشرو^۲ استفاده گردید [۱۰]. مدل HydroGeoSphere از معادله تغییر یافته ریچاردز، برای توصیف سه بعدی جریان در محیط‌های متخلخل به شرح ذیل استفاده می‌کند [۱۱].

$$-\nabla \cdot (W_m q) + \sum \Gamma_{ex} + Q = W_m \frac{\partial}{\partial t} (\theta_s, S_w) \quad (1)$$

که در آن، W_m کسر حجمی تخلخل کل بوده که به وسیله محیط متخلخل اشغال شده است (بدون بعد). این کسر حجمی همیشه مساوی با یک می‌باشد. به جز زمانی که محیط متخلخل ثانویه برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شود. q شدت جریان سیال (LT^{-1}) می‌باشد. Γ_{ex} میزان تبادل حجمی سیال بین محیط زیر سطحی و تمام بخش‌های دیگر احاطه شده توسط مدل ($L^3L^{-3}T^{-1}$) بوده که معمولاً جریان‌های سطحی، چاه‌ها، زهکش‌های لوله‌ای را در نظر می‌گیرد. Q تبادل سیال با خارج از محیط شبیه‌سازی ($L^3L^{-3}T^{-1}$)، θ_s مقدار رطوبت اشباع (بدون

با توجه به عمق شخم خاک‌های زراعی که حدود ۳۰ سانتیمتر است، استوانه تا عمق ۳۰ سانتیمتری در داخل زمین کوبیده شد به طوری که عمق خاک داخل استوانه ۳۰ سانتیمتر گردید، پس از تهیه نمونه‌های خاک دست نخورده، در انتهای هر استوانه برای جلوگیری از ریزش خاک، توری قرار داده شد و به وسیله سیم‌های فلزی محکم گردید و نمونه‌ها با احتیاط به آزمایشگاه انتقال یافت.

۲-۲- تجزیه شیمیایی آب کانال و آب زهکش

در ابتدای هر فصل قبل از آبیاری، آب کانال و آب زهکش از نظر ویژگی‌های شیمیایی مورد تجزیه قرار گرفت. pH با استفاده از دستگاه pH سنج (مدل Metrohm-827)، هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه Ec سنج (مدل WTW-720)، کاتیون‌های سدیم و پتاسیم به وسیله دستگاه شعله‌سنج (مدل JENWAY-PFP7) قرائت گردید. کلسیم، منیزیم، کلراید، کربنات و بی‌کربنات در آب کانال و زهکش به وسیله تیتراسیون اندازه‌گیری شد. سولفات محلول از روش تشکیل رسوب در استن اندازه‌گیری شد [۹].

۲-۳- آبیاری نمونه‌ها

در این تحقیق، ۹ استوانه حاوی خاک دست نخورده، در سه تیمار و سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی آبیاری شدند. به این صورت که در تیمار اول به عنوان شاهد، آبیاری فقط با آب کانال آبیاری، تیمار دوم آبیاری با زه آب ۷۰٪ رقیق شده با آب کانال آبیاری و تیمار سوم آبیاری با زه آب ۵۰٪ رقیق شده با آب کانال آبیاری انجام گرفت که هر ده روز یک بار (تقریباً برابر دور آبیاری منطقه) به تیمارها به صورت مرتب آب اضافه گردید. به

1- Levenberg-Marquardt

2- Forward

آن‌ها در تابع هدف یکسان است، در این تحقیق مقدار واحد برای آن در نظر گرفته شده است. بردار مجهولات ممکن است در ساده‌ترین حالت تنها شامل یک پارامتر و یا در موارد پیچیده‌تر دارای چند پارامتر باشد. شایان ذکر است در این تحقیق تابع هدف کمینه کردن اختلاف بین زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده بود.

برای حل معادلات دیفرانسیلی مانند معادله ریچاردز با روش‌های عددی، میدان حل باید شبکه‌بندی گردد. شبکه‌بندی مدل آزمایشگاهی به روش اجزای محدود^۱ و با استفاده از نرم‌افزار گرید بیلدر^۲ [۱۵] انجام گرفته است (شکل ۱-ب).

شرایط مرزی در این تحقیق به گونه‌ای در نظر گرفته شد که فیزیک مسئله را شامل شده و منطبق با واقعیت باشد. لذا برای مرز فوقانی در این پژوهش، در حالت ماندگار، شدت جریان ثابت اعمال گردید. در حالت غیر ماندگار مرز فوق، مرز نیومن^۳ در نظر گرفته شد. به طوری که در این مرز شدت جریان متغیر^۴ (شدت بارش متغیر) اعمال گردید. در حالت‌های ماندگار و غیر ماندگار، در طرفین استوانه به دلیل این که جریان جانبی در این تحقیق وجود نداشت، شدت جریان صفر^۵ و در مرز پایین زهکشی آزاد در نظر گرفته شد.

۲-۵- روش انجام آزمایش بارش - زهکشی

برای انجام آزمایش و اندازه‌گیری زهکشی آزاد از انتهای مدل آزمایشگاهی (ستون محتوی خاک)، هر کدام از نمونه‌های خاک توسط یک باران‌ساز مصنوعی تحت شدت بارش ثابتی قرار گرفتند. شدت بارش توسط شیرهای شلنگ‌های منبع آب متصل به باران ساز تنظیم می‌شد. به تدریج پس از مدت کوتاهی زهکشی از انتهای مدل آزمایشگاهی شروع شده و مقدار آب خارج شده از آن توسط یک قیف وارد بشر گردید. توسط یک استوانه مدرج آب زهکشی شده در زمان‌های معین ثبت گردید و از این طریق زهکشی آزاد به دقت اندازه‌گیری شد.

به دلیل مشکل بودن اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک خاک‌ها به عنوان شرایط اولیه آزمایش در مدل معکوس، ابتدا آزمایش زهکشی در حالت ماندگار انجام شد. به گونه‌ای که شدت جریان آب ورودی به ستون خاک با شدت آب زهکشی شده از انتهای آن برابر شود. تحت این شرایط مدل کامپیوتری

بعد و S_w درجه اشباع آب خاک (بدون بعد) است. سمت راست معادله تغییرات رطوبت نسبت به زمان را نشان می‌دهد.

معادله دیفرانسیلی ریچاردز، همراه با مدل منحنی مشخصه آب خاک و هدایت هیدرولیکی غیر اشباع و گنوختن-معلم برای شبیه‌سازی حرکت آب در خاک استفاده شده است [۱۲ و ۱۳]. مدل و گنوختن برای منحنی مشخصه آب خاک به صورت زیر در مدل HydroGeoSphere به کار رفته است [۱۱].

$$S_w = S_{wr} + (1 - S_{wr}) \left(1 + |\alpha \psi|^\beta \right)^{-(1-1/\beta)} \quad \text{for } \psi < 0 \quad (2)$$

$$S_w = 1 \quad \text{for } \psi \geq 0 \quad (3)$$

برای هدایت هیدرولیکی نسبی (k_r) رابطه زیر استفاده شده است [۱۱].

$$k_r = \left(\frac{S_w - S_{wr}}{1 - S_{wr}} \right)^{0.5} \left[1 - \left(\frac{S_w - S_{wr}}{1 - S_{wr}} \right)^{1/(1-1/\beta)} \right]^2 \quad (4)$$

در معادلات فوق β و α ضرایب ثابت معادلات می‌باشند α عکس مکش ورود هوا (L^{-1} است) ψ مکش خاک (L) و S_{wr} درجه اشباع رطوبت باقی‌مانده خاک (بدون بعد) بوده و برابر است با $S_{wr} = \frac{\theta_r}{\theta_s}$ که در آن θ_r رطوبت باقی‌مانده در خاک می‌باشد. تابع هدف در مدل معکوس به صورت رابطه زیر در نظر گرفته شد [۱۴].

$$\Phi(q, b) = \sum_{j=1}^m v_j \sum_{i=1}^n w_{ij} [q_j^*(z, t_i) - q_j(z, t_i, b)]^2 \quad (5)$$

که در آن، $b(K_s, \theta_r, \theta_s, \dots)$ بردار عوامل مشخصه مجهول، $q_j^*(z, t_i)$ مقادیر اندازه‌گیری شده زهکشی آزاد یا شدت جریان خروجی از انتهای نمونه‌ها در زمان t_i و m و n به ترتیب تعداد سری داده‌های اندازه‌گیری شده و تعداد قرائت‌ها برای هر سری داده و w_{ij} و v_j به ترتیب ضرایب وزنی برای هر قرائت و هر سری از داده‌های اندازه‌گیری شده هستند. ضریب‌های وزنی توسط کاربر بر اساس مفاهیم فیزیکی داده‌های اندازه‌گیری شده و اهمیت و کیفیت آن‌ها تعیین می‌شوند. به دلیل این که همه داده‌های اندازه‌گیری شده دارای دقت مشابه بوده و درجه اهمیت

- 1- Finite elements
- 2- Grid builder
- 3- Neumann
- 4- Specified flux
- 5- No flow

با بررسی نتایج تجزیه‌های مربوط به کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در زه‌آب در جدول (۱) و (۲) مشاهده می‌گردد که کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم و آنیون‌های بی‌کربنات، کلر و سولفات در مهر ماه بیشتر از دی ماه و در دی بیشتر از فروردین ماه بودند. همچنین مقدار EC و SAR در زه‌آب از مهر ماه ۸۹ تا فروردین ۹۰ کاهش یافته است که علت آن می‌تواند مربوط به تغییرات فصلی بارندگی باشد. با افزایش مقدار بارندگی میزان آب شویی افزایش یافته بنابر این آب زهکشی رقیق شده و از میزان این کاتیون‌ها کاسته شده است.

در مقدار کاتیون پتاسیم در طول این ماه‌ها اختلافی مشاهده نشد که دلیل آن جذب ترجیحی پتاسیم توسط خاک می‌باشد. Arienzo و همکاران [۱۶] گزارش کردند که یون‌های پتاسیم توسط ذرات خاک جذب شده و در نتیجه از مقدار آب‌شویی پتاسیم در آب زهکشی جلوگیری می‌شود. مگر این که کلیه فازهای تبادلی و غیر تبادلی خاک اشباع از پتاسیم شده باشد.

جدول ۱- مقادیر کاتیون‌های اندازه‌گیری شده (میلی‌اکی والان

در لیتر) در آب کانال و زه‌آب

نمونه	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺
زه‌آب (مهر ۸۹)	۴/۹۵	۳/۱۵	۲۰/۵۰	۰/۲۴
زه‌آب (دی ۸۹)	۲/۷۵	۳/۳۰	۱۶/۱۸	۰/۲۷
زه‌آب (فروردین ۸۹)	۲/۴۵	۱/۹۵	۱۲/۴۰	۰/۲۵
کانال (مهر ۸۹)	۱/۳۵	۱/۶۵	۵/۱۰	۰/۲۴
کانال (دی ۸۹)	۱/۵۰	۱/۶۵	۴/۰۲	۰/۲۴
کانال (فروردین ۸۹)	۱/۶۰	۱/۶۵	۴/۸۳	۰/۲۴

جدول ۲- مقادیر آنیون‌های اندازه‌گیری شده (میلی‌اکی‌والان در

لیتر)، EC (dS m⁻¹)، SAR و pH در آب کانال و زه‌آب

نمونه	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	pH	EC	SAR
زه‌آب (مهر ۸۹)	۴/۰۰	۷/۶۰	۱۷/۲۴	۷/۶۹	۲/۸۹	۱۰/۱۹
زه‌آب (دی ۸۹)	۴/۲۰	۶/۳۰	۱۱/۹۹	۷/۶۵	۲/۲۶	۹/۳۰
زه‌آب (فروردین ۸۹)	۳/۹۰	۴/۷۰	۸/۴۵	۷/۶۲	۱/۷۱	۸/۳۶
کانال (مهر ۸۹)	۳/۸۰	۲/۸۰	۱/۷۵	۷/۷۹	۰/۸۴	۴/۱۶
کانال (دی ۸۹)	۳/۸۰	۲/۹۰	۱/۷۲	۷/۷۵	۰/۷۵	۳/۲۰
کانال (فروردین ۸۹)	۳/۸۰	۳/۰۰	۱/۴۳	۷/۷۲	۰/۸۴	۳/۷۹

در واقع جذب ترجیحی مقدار پتاسیم توسط ورمیکولایت و ایلایت از آب‌شویی آن جلوگیری کرده و دسترسی مقدار پتاسیم

HydroGeoSphere به همراه مدل معکوس برای شرایط ماندگار اجرا گردید.

شدت بارش اعمال شده و زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده از نمونه خاک به عنوان داده مشاهده‌ای در نظر گرفته شده و وارد مدل گردید. در این مرحله از آزمایش مقادیر برآورد شده پتانسیل ماتریک توسط مدل به عنوان مقادیر اولیه^۱ برای شرایط غیرماندگار وارد مدل کامپیوتری شد. در مرحله غیرماندگار شدت بارش‌های متغیری در محدوده ۰ تا ۰/۰۵ سانتی‌متر در دقیقه بر ستون خاک اعمال و زهکشی آزاد از نمونه نیز با دقت اندازه‌گیری شده و به عنوان داده ورودی وارد مدل گردید.

آزمایش اندازه‌گیری زهکشی آزاد در حالت غیر ماندگار در دو مرحله انجام گرفت. نخست مرحله واسنجی^۲ که با به کارگیری روش معکوس، هدایت هیدرولیکی اشباع و سه پارامتر از مدل منحنی مشخصه ون‌گنوختن - معلم (θ_r, α و β) تخمین زده شد. در مرحله اعتبارسنجی، جهت بررسی اعتبار پارامترهای تخمین زده شده، حرکت آب در خاک با مدل HydroGeoSphere با به کارگیری مشخصات هیدرولیکی تخمین زده شده، بدون اجرای مدل معکوس شبیه‌سازی شد. در صورتی که مشخصات هیدرولیکی تخمین زده شده همراه با معادله ریچاردز بتواند حرکت آب در خاک را شبیه‌سازی نماید، نشانگر این است که مشخصات هیدرولیکی تخمین زده شده از اعتبار برخوردار است. شایان ذکر است مرحله واسنجی و اعتبارسنجی برای هر تیمار و تکرار به طور جداگانه انجام شد.

۲-۶- تجزیه آماری

براساس طرح آزمایشی مورد نظر، کلیه داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS تحلیل و با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن، میانگین‌های به دست آمده مورد مقایسه قرار گرفت. نمودارهای مربوطه نیز با نرم‌افزار Tecplot رسم گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج تجزیه شیمیایی آب کانال آبیاری و زهکشی

نمونه‌برداری کیفیت آب زهکش و کانال آبیاری در ابتدای هر فصل انجام شد و آب از نظر کیفیت مورد تجزیه قرار گرفت. مقادیر کاتیون‌های محلول در جدول (۱) و مقادیر آنیون‌های محلول، قابلیت هدایت الکتریکی، SAR و pH نیز در آب کانال و زه‌آب در جدول (۲) ارائه شده است.

1. Initial value
2. Calibration

نمونه‌های آزمایشگاهی و همچنین میزان تطابق بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهند. با توجه به نتایج به دست آمده از روش معکوس در مرحله واسنجی (شکل‌های (۲) الی (۱۰))، مشاهده می‌گردد که تطابق نسبتاً خوبی بین مقادیر زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد. بنابر این می‌توان نتیجه گرفت که روش معکوس و الگوریتم طراحی شده عملکرد مناسبی دارد. عدم تطابق تمام نقاط اندازه‌گیری شده با شبیه‌سازی شده ناشی از خطای اندازه‌گیری زهکشی آزاد می‌باشد.

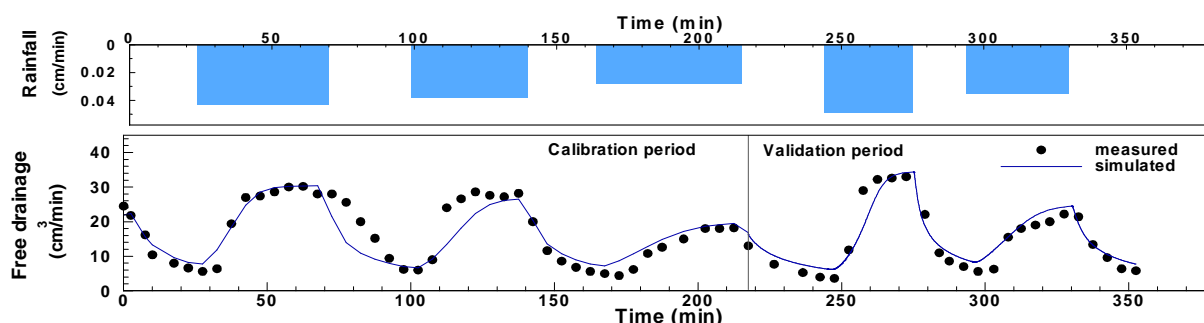
در ابتدای مرحله واسنجی (شکل‌های (۲) تا (۱۰)) تطابق خوبی بین زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد. چون مقادیر اولیه برای حالت غیرماندگار، نتایج اجرای مدل در حالت ماندگار می‌باشد، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مدل معکوس در حالت ماندگار مشخصات خاک‌ها را با دقت مناسبی تخمین زده است. مرحله اعتبارسنجی برای تمام تیمارها و تکرارها تطابق خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد. این امر بیانگر صحت تخمین پارامترها توسط روش معکوس در مرحله واسنجی می‌باشد.

در آب زهکشی را محدود می‌کند. با بررسی مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در آب کانال و همچنین EC، SAR و pH در طول فصل‌های مختلف تغییری مشاهده نشد. به طوری که می‌توان نتیجه گرفت که آب کانال در طول سال دارای کیفیت یکسانی از نظر این پارامترها می‌باشد (جداول (۱) و (۲)).

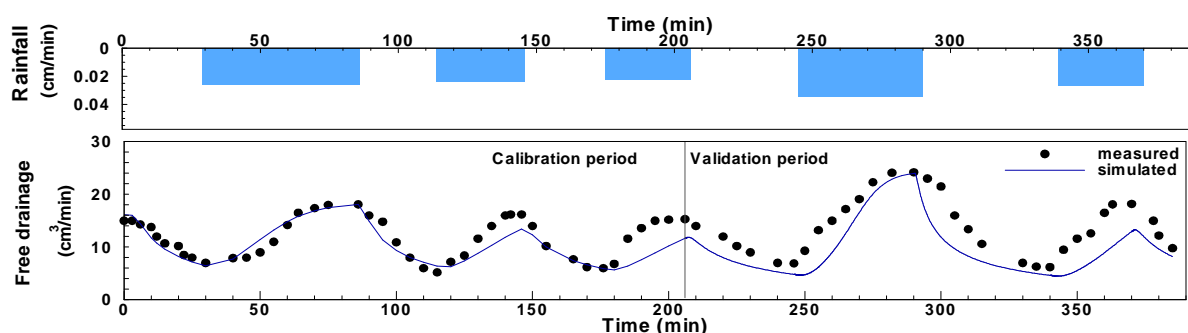
نتایج تجزیه کیفیت آب نشان داد که میانگین مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب زهکشی بیشتر از آب کانال‌های آبیاری می‌باشد. آب‌های زهکشی به دلیل شستشوی نمک‌ها از خاک دارای مقادیر بیشتری از یون‌ها بوده و همچنین میزان SAR و EC بیشتری نسبت به آب کانال‌های آبیاری دارند. اختلاف بسیار ناچیزی بین میانگین pH آب کانال (۷/۷۵) و آب زهکشی (۷/۶۵) مشاهده شد.

۲-۳- تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک با استفاده از روش معکوس

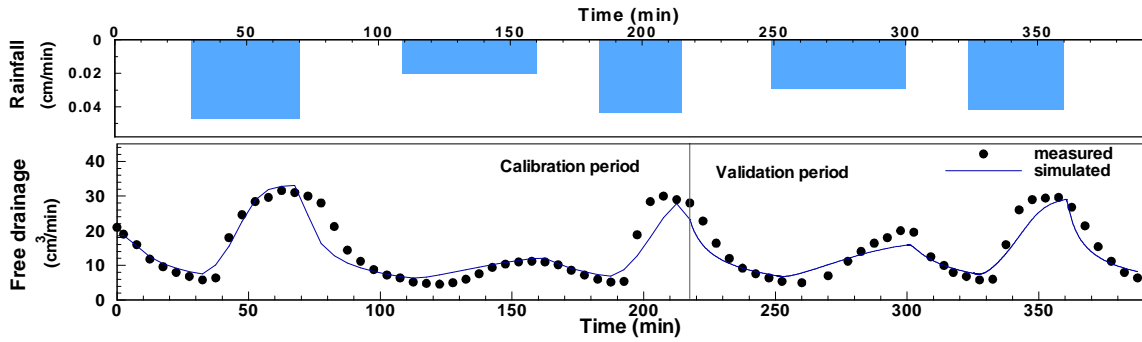
مقادیر شدت بارش اعمال شده و زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی برای تیمارهای مختلف در شکل‌های (۲) تا (۱۰) ارائه شده است. این شکل‌ها روند تغییرات شدت بارش و زهکشی آزاد از انتهای



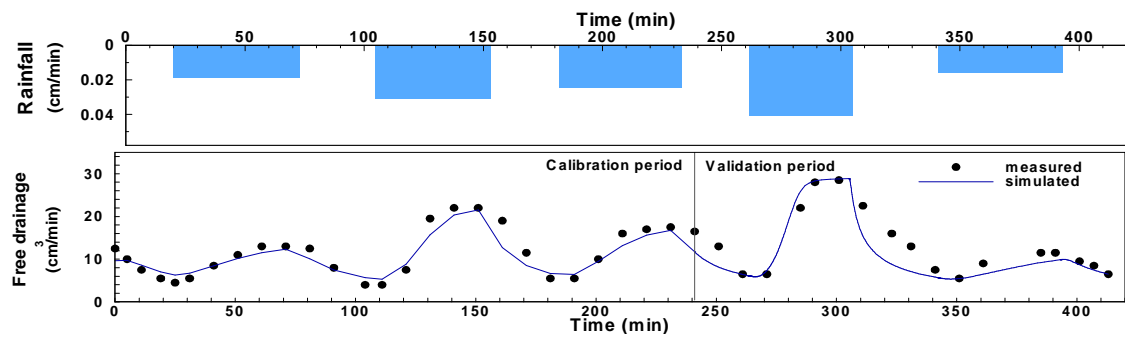
شکل ۲- شدت بارش اعمال شده و زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با کد HydroGeoSphere برای تیمار شاهد (آبیاری با آب کانال آبیاری)، تکرار اول



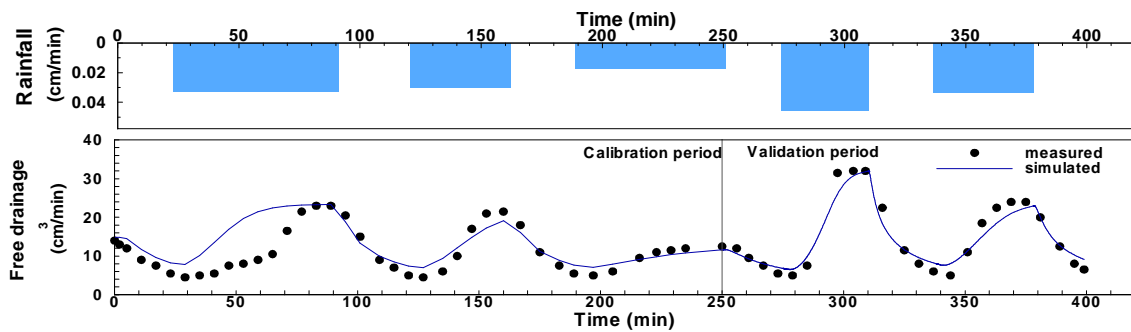
شکل ۳- شدت بارش اعمال شده و زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با کد HydroGeoSphere برای تیمار شاهد (آبیاری با آب کانال آبیاری)، تکرار دوم



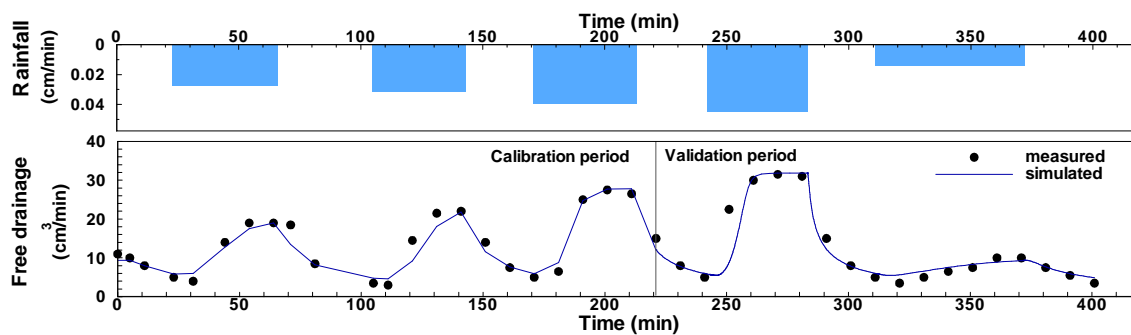
شکل ۴- شدت بارش اعمال شده و زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با کد HydroGeoSphere برای تیمار شاهد (آبیاری با آب کانال آبیاری)، تکرار سوم



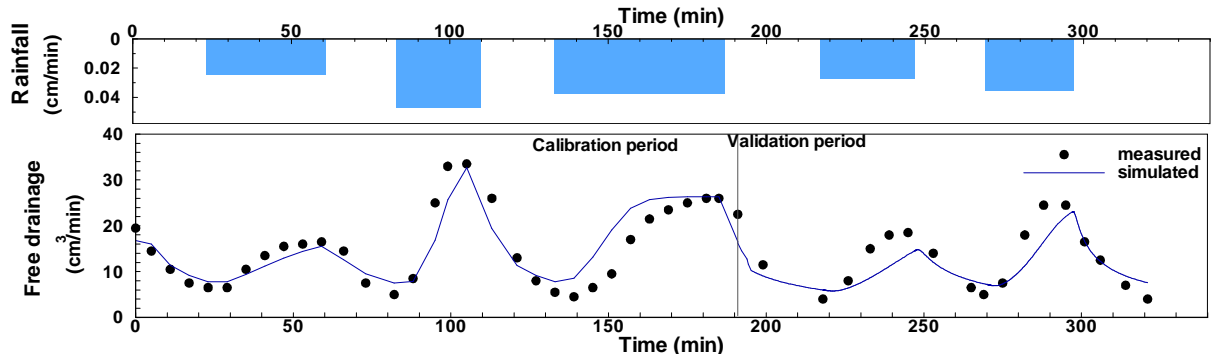
شکل ۵- شدت بارش اعمال شده و زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با کد HydroGeoSphere برای تیمار آبیاری شده با آب زهکشی ۷۰٪ رقیق شده با آب آبیاری، تکرار اول



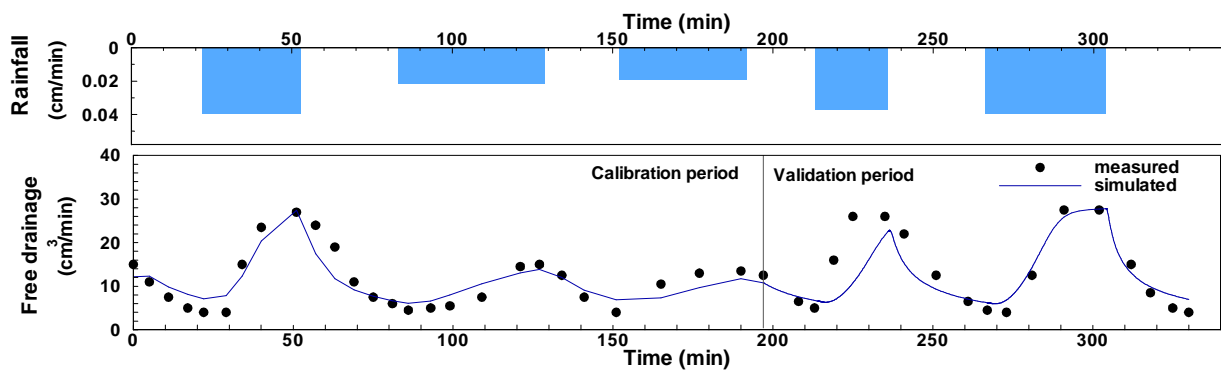
شکل ۶- شدت بارش اعمال شده و زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با کد HydroGeoSphere برای تیمار آبیاری شده با آب زهکشی ۷۰٪ رقیق شده با آب آبیاری، تکرار دوم



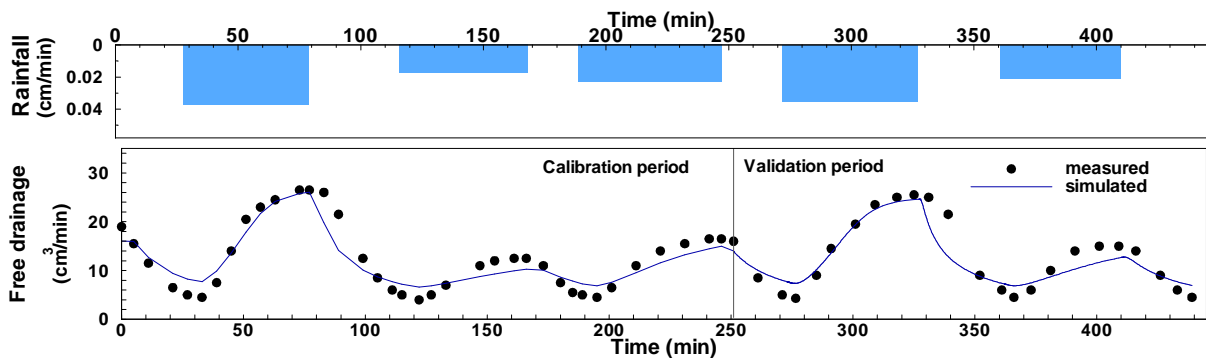
شکل ۷- شدت بارش اعمال شده و زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با کد HydroGeoSphere برای تیمار آبیاری شده با آب زهکشی ۷۰٪ رقیق شده با آب آبیاری، تکرار سوم



شکل ۸- شدت بارش اعمال شده و زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با کد HydroGeoSphere برای تیمار آبیاری شده با آب زهکشی ۵۰٪ رقیق شده با آب آبیاری، تکرار اول



شکل ۹- شدت بارش اعمال شده و زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با کد HydroGeoSphere برای تیمار آبیاری شده با آب زهکشی ۵۰٪ رقیق شده با آب آبیاری، تکرار دوم



شکل ۱۰- شدت بارش اعمال شده و زهکشی آزاد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با کد HydroGeoSphere برای تیمار آبیاری شده با آب زهکشی ۵۰٪ رقیق شده با آب آبیاری، تکرار سوم

جداول نشان می‌دهند از بین ویژگی‌های تخمین زده شده، خطای استاندارد رطوبت باقی‌مانده در خاک (θ_r) در مقایسه با میانگین مقادیر برآورد شده آن (بدون در نظر گرفتن علامت آن) بزرگ بوده، لذا مدل معکوس به این پارامتر در تمام تیمارها، نسبت به ویژگی‌های دیگر حساسیت کمتری دارد. همچنین با توجه به جداول (۳) تا (۵) می‌توان نتیجه گرفت مدل معکوس بیشترین حساسیت را به پارامتر β نشان داده است. حدود

در مرحله زمانی واسنجی، مدل معکوس همبستگی بین پارامترهای تخمین زده و همچنین خطای استاندارد و حدود اطمینان (در سطح ۹۵ درصد) را محاسبه می‌نماید مقادیر ویژگی‌های تخمینی (β و α ، θ_r ، K_s) در مرحله واسنجی با روش معکوس، به همراه خطای استاندارد و حدود اطمینان ۹۵ درصد (به صورت لگاریتمی، برای نرمال کردن) برای تیمارهای اول، دوم و سوم، در جداول (۳) تا (۵) ارائه شده است. این

جدول ۴- مقادیر ویژگی‌های تخمین زده شده به همراه خطای استاندارد و حدود اطمینان آن‌ها برای تیمار آبیاری شده با آب زهکشی ۷۰٪ رقیق شده با آب آبیاری (K_s): هدایت هیدرولیکی اشباع، θ_r : رطوبت باقی‌مانده، α و β : ویژگی‌های مدل منحنی

مشخصه آب خاک ون گنوختن)

پارامتر	مقدار تخمین	خطای استاندارد	حدود اطمینان (۹۵ درصد)	
			حد بالا	حد پایین
$K_s, \text{Log}_{10} (\text{cm min}^{-1})$	-۰/۶۰۰	۰/۲۳۰	-۱/۰۸۱	-۰/۱۲۰
$\theta_r, \text{Log}_{10} (-)$	-۰/۸۲۴	۰/۷۲۵	-۲/۳۴۷	۰/۶۹۳
$\alpha, \text{Log}_{10} (\text{cm}^{-1})$	-۲/۰۹۷	۰/۲۶۸	-۲/۶۳۸	-۱/۵۰۶
$\beta, \text{Log}_{10} (-)$	۰/۰۶۸	۰/۰۲۶	۰/۰۱۳	۰/۱۲۴

جدول ۵- مقادیر ویژگی‌های تخمین زده شده به همراه خطای استاندارد و حدود اطمینان آن‌ها برای نمونه خاک آبیاری شده با زه آب ۵۰٪ رقیق شده با آب آبیاری (K_s): هدایت هیدرولیکی اشباع، θ_r : رطوبت باقی‌مانده، α و β : ویژگی‌های مدل منحنی

مشخصه آب خاک ون گنوختن)

پارامتر	مقدار تخمین	خطای استاندارد	حدود اطمینان (۹۵ درصد)	
			حد بالا	حد پایین
$K_s, \text{Log}_{10} (\text{cm min}^{-1})$	-۰/۷۳۳	۰/۰۵۰	-۱/۷۵۷	۰/۲۹۲
$\theta_r, \text{Log}_{10} (-)$	-۰/۸۲۴	۱/۱۶۰	-۲/۳۰۱	۱/۵۸۵
$\alpha, \text{Log}_{10} (\text{cm}^{-1})$	-۲/۱۵۵	۰/۴۱۹	-۲/۰۴۶	-۱/۲۹۲
$\beta, \text{Log}_{10} (-)$	۰/۰۸۶	۰/۰۶۸	-۰/۰۵۶	۰/۲۲۵

جدول ۶- مقادیر همبستگی بین ویژگی‌های تخمین زده شده برای نمونه شاهد (آبیاری با آب کانال آبیاری) (K_s): هدایت هیدرولیکی اشباع، θ_r : رطوبت باقی‌مانده، α و β : ویژگی‌های

مدل منحنی مشخصه آب خاک ون گنوختن)

	K_s	θ_r	α	β
K_s	۱/۰۰۰			
θ_r	-۰/۶۶۲	۱/۰۰۰		
α	-۰/۰۸۸	۰/۷۸۳	۱/۰۰۰	
β	-۰/۹۰۲	۰/۹۱۷	۰/۴۹۸	۱/۰۰۰

جدول ۷- مقادیر همبستگی بین ویژگی‌های تخمین زده شده برای نمونه خاک آبیاری شده با آب زهکشی ۷۰٪ رقیق شده با آب آبیاری (K_s): هدایت هیدرولیکی اشباع، θ_r : رطوبت باقی‌مانده، α و β : ویژگی‌های مدل منحنی مشخصه آب خاک

ون گنوختن)

	K_s	θ_r	α	β
K_s	۱/۰۰۰			
θ_r	-۰/۳۰۱	۱/۰۰۰		
α	۰/۱۴۱	۰/۹۰۳	۱/۰۰۰	
β	-۰/۶۰۴	۰/۸۹۴	۰/۶۷۵	۱/۰۰۰

اطمینان محاسبه شده (جدول (۳) تا (۵)) نشان می‌دهند از بین ویژگی‌های تخمین زده شده θ_r بیشترین حدود اطمینان و β کمترین حدود اطمینان را نسبت به بقیه پارامترها دارند. لذا بیشترین عدم اطمینان در تخمین پارامترها را θ_r و کمترین عدم اطمینان را β از بین ویژگی‌های تخمینی دارا می‌باشند. بزرگ بودن خطای استاندارد و حدود اطمینان در تخمین پارامترها با استفاده از مدل معکوس، مبین دقت کمتر مدل در تخمین آن پارامتر می‌باشد [۷، ۱۷ و ۱۸]. بنابر این برای تمام تیمارها، بیشترین دقت مدل در تخمین پارامتر β و کمترین دقت مربوط به تخمین پارامتر θ_r می‌باشد.

مقادیر همبستگی بین ویژگی‌های تخمینی برای هر سه تیمار در جداول (۶) تا (۸) ارائه شده است. نتایج ماتریس همبستگی نشان دادند که بیشترین همبستگی بین پارامترهای مدل ون گنوختن، مربوط به α و β با θ_r می‌باشد. همبستگی زیاد بین پارامترها باعث اثرگذاری مقدار یک پارامتر بر پارامتر دیگر شده و ممکن است مقدار دو پارامتر بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی آن تخمین زده شود. به عبارت دیگر همبستگی زیاد بین ویژگی‌های تخمینی باعث افزایش عدم منحصر به فرد بودن در تخمین ویژگی‌های مذکور خواهد شد [۷، ۱۷ و ۱۸]. مدل ون گنوختن نسبت به مدل‌های دیگر، بیشترین کاربرد را در شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در خاک داشته و عیب این مدل همبستگی داخلی زیاد بین ویژگی‌های آن می‌باشد [۱۹ و ۲۰]. برای غلبه بر این مشکل و اطمینان از منحصر به فرد بودن پارامترهای تخمینی، مدل معکوس با مقادیر اولیه متفاوت پارامترها اجرا گردید.

جدول ۳- مقادیر ویژگی‌های تخمین زده شده به همراه خطای استاندارد و حدود اطمینان آن‌ها برای نمونه شاهد (آبیاری با آب کانال آبیاری) (K_s): هدایت هیدرولیکی اشباع، θ_r : رطوبت باقی‌مانده، α و β : ویژگی‌های مدل منحنی مشخصه آب خاک

ون گنوختن)

پارامتر	مقدار تخمین	خطای استاندارد	حدود اطمینان (۹۵ درصد)	
			حد بالا	حد پایین
$K_s, \text{Log}_{10} (\text{cm min}^{-1})$	-۰/۶۵۰	۰/۵۴۱	-۱/۷۴۵	-۰/۴۴۲
$\theta_r, \text{Log}_{10} (-)$	-۰/۸۲۴	۱/۱۴۰	-۳/۱۵۵	۱/۴۸۳
$\alpha, \text{Log}_{10} (\text{cm}^{-1})$	-۲/۳۰۱	۰/۳۴۲	-۳/۰۰۰	-۱/۵۶۹
$\beta, \text{Log}_{10} (-)$	۰/۰۸۶	۰/۰۷۰	-۰/۰۵۷	۰/۲۳۰

بررسی کرده و نتیجه گرفتند بعد از ۶ ماه هدایت هیدرولیکی اشباع خاک کاهش می‌یابد.

Bagarello و همکاران [۲۲] نشان دادند با افزایش SAR آب، مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع به طور معنی‌داری برای خاک‌های رسی و لومی شنی کاهش می‌یابد.

تجزیه آماری نشان داد مقادیر α ، β و θ_r برای سه تیمار در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند (جدول (۹)). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت استفاده از زه‌آب، پس از یک سال تأثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر منحنی مشخصه آب خاک ندارد. ذاکری نیا و همکاران [۸] تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع خاک آبیاری شده با آب شور و سدیمی را با روش معکوس بررسی کردند. این محققین مقدار منحنی مشخصه آب و خاک را ثابت در نظر گرفتند. نتایج تحقیق حاضر نشان دادند که تأثیر زه‌آب‌ها بر روی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بیش از منحنی مشخصه آب خاک در مدت یک سال می‌باشد.

جدول ۹- تأثیر استفاده از آب زهکشی بر پارامترهای مدل منحنی مشخصه آب خاک ون گنوختن (K_s : هدایت هیدرولیکی اشباع، θ_r : رطوبت باقی‌مانده، α و β : ویژگی‌های مدل منحنی مشخصه آب خاک ون گنوختن)

تیمار	K_s (cm min^{-1})	θ_r ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	α (cm^{-1})	β
شاهد	۰/۲۲۰ ^{a*}	۰/۱۴۳ ^a	۰/۰۰۵ ^a	۱/۲۱ ^a
۳۰ درصد زه‌آب- ۷۰ درصد کانال	۰/۲۲۶ ^a	۰/۱۴۰ ^a	۰/۰۰۵ ^a	۱/۲۰ ^a
۵۰ درصد زه‌آب- ۵۰ درصد کانال	۰/۱۶۶ ^b	۰/۱۵۰ ^a	۰/۰۰۶ ^a	۱/۲۲ ^a

* اعداد دارای حروف مشابه در یک ستون دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ نمی‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

منحنی‌های مرحله اعتبارسنجی نشان دادند شبیه‌سازی زهکشی آزاد با ویژگی‌های هیدرولیکی برآورد شده با روش معکوس (مرحله واسنجی) دارای دقت مناسب بوده بنابراین می‌توان گفت ویژگی‌های برآورد شده، دقت قابل قبولی داشته و اعتبار لازم برای شبیه‌سازی زهکشی آزاد را دارند.

نتایج نشان دادند آبیاری با آب زهکشی در تیمارهای مختلف، باعث اختلاف معنی‌داری در ویژگی‌های معادله وان گنوختن (α ، β و θ_r) در سطح ۵ درصد نگردید. لذا می‌توان نتیجه گرفت استفاده از آب زهکشی با نسبت اختلاط ۵۰ و ۷۰ درصد با آب کانال آبیاری تأثیر معنی‌داری در سطح

جدول ۸- مقادیر همبستگی بین ویژگی‌های تخمین زده شده برای نمونه خاک آبیاری شده با زه‌آب ۵۰٪ رقیق شده با آب آبیاری (K_s : هدایت هیدرولیکی اشباع، θ_r : رطوبت باقی‌مانده، α و β : ویژگی‌های مدل منحنی مشخصه آب خاک ون گنوختن)

	K_s	θ_r	α	β
K_s	۱/۰۰۰			
θ_r	-۰/۴۰۵	۱/۰۰۰		
α	۰/۰۰۵	۰/۸۹۳	۱/۰۰۰	
β	-۰/۷۹۰	۰/۸۷۵	۰/۵۹۶	۱/۰۰۰

پس از برآورد پارامترها با روش معکوس و سنجش اعتبار ویژگی‌های تخمین زده شده در مرحله اعتبارسنجی، تأثیر استفاده از زه‌آب بر روی مشخصات هیدرولیکی خاک بررسی گردید. برای این منظور ویژگی‌های هیدرولیکی برآورد شده با روش معکوس (K_s ، α ، β و θ_r) در تیمارهای، شاهد (آبیاری با آب کانال)، تیمار آبیاری با آب زهکش ۷۰ درصد رقیق شده با آب کانال (۳۰٪ زه‌آب-۷۰٪ کانال) و تیمار آبیاری با آب زهکش ۵۰ درصد رقیق شده با آب کانال (۵۰٪ زه‌آب-۵۰٪ کانال) با ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی به وسیله نرم‌افزار SPSS با روش چند دامنه‌ای دانکن مقایسه گردید (جدول (۹)). نتایج نشان دادند که، استفاده از آب زهکشی موجب کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود. این کاهش در تیمار آبیاری شده با زه‌آب ۵۰٪ رقیق شده نسبت به شاهد در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود؛ در حالی که تیمار ۷۰ درصد رقیق شده نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان نداد (جدول (۹)). هر چه EC و SAR آب آبیاری بیشتر باشد مقدار سدیم موجود در آب زیادتر بوده و ساختمان خاک تحت تأثیر سدیم قرار گرفته در نتیجه ذرات خاک دچار پراکندگی می‌شوند. ذرات پراکنده شده به مرور زمان و در هر آبیاری در خلل و فرج‌های خاک قرار گرفته و سبب مسدود شدن و فشرده شدن خاک گشته و در نتیجه هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج محققین دیگر هم‌خوانی دارد.

Celik و همکاران [۲۱] بیان کردند از هم پاشیدن خاک‌دانه‌ها و فشرده‌گی خاک معمولاً روی خلل و فرج درشت تأثیر داشته و سبب کاهش آن گشته و در نتیجه هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش می‌یابد.

ذاکری نیا و همکاران [۸] تغییر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک آبیاری شده با آب شور و سدیمی را با روش معکوس

- [6] Majlalani, S., Angulo-Jaramillo, R.; Di Pietro, L., "Estimating Preferential Water Flow Parameter Using a Binary Genetic Algorithm Inverse Method", *Environmental Modelling & Software*, 2008, 23 (7), 1-7.
- [7] Abbasi, F., Simunek, J., Feyen, J., Van Genuchten, M. Th., Shouse, P. J., "Simultaneous Inverse Estimation of Eoil Hydraulic and Solute Transport Parameters from Transient Field Experiments: Homogeneous Soil", *Transactions of the ASAE*, 2003, 46, 1085-1095.
- [۸] ذاکری‌نیا، م.، عباسی، ف.، سهرابی، ت.، "بررسی تغییرات هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از روش معکوس"، *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*، ۱۳۸۶، ۸ (۳)، ۱۷-۳۰.
- [9] Greenberg, A. E., Clesceri, L. S., Earon, A.D., "Standard Methods for Examination of Water and Waste Water", *American Public Health Association*, 18th edition, 1992.
- [10] Rasoulzadeh, A., Moosavi, S. A. A., Unger, A.J.A., "Estimation of Roundwater Recharge by Rainfall and Irrigation Using Inverse Method", 6th Hydraulic Conference of Iran. University of Shahrekord, Shahrekord, 2007, 77-88.
- [11] Therrien, R., McLaren, R. G., Sudicky, E. A., "HydroGeoSphere: A Three- Dimensional Model Describing Fully-Integrated Subsurface and Surface Flow and Solute Transport", *University of Waterloo, Canada*, 2008.
- [12] Van Genuchten, M. T., "A Close-From Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils", *Soil Science Society of America Journal*, 1980, 44, 892-898.
- [13] Mualem, Y., "A New Model to Predict the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Porous media", *Water Resources Research*, 1976, 12, 513-522.
- [14] Šimůnek, J., van Genuchten, M. Th., Gribb, M. M., Hopmans, J. W., "Parameter Estimation of Unsaturated Soil Hydraulic Properties from Transient Flow Processes", *Soil & Tillage Research*, 1998, 47 (1-2), 27-36.
- [15] McLaren, R. G., "GRID BUILDER. A Pre-processor for 2-D, Triangular Element, Finite-Element Programs", *Groundwater Simulation Group, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada*, 2004.
- [16] Arienzo, M., Christen, E. W., Quayle, W., Kumar, A., "A Review of the Fate of Potassium in Soil-Plant System after Land
- ۵ درصد پس از یک سال بر منحنی مشخصه آب خاک منطقه مورد مطالعه نداشته است. نتایج نشان دادند استفاده از آب زهکشی موجب کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود. این کاهش در تیمار آبیاری شده با زه آب ۵۰ درصد رقیق شده نسبت به شاهد در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده ولی تیمار ۷۰ درصد رقیق شده نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان نداد. نتایج به دست آمده بیان می‌کنند استفاده از آب زهکشی پس از یک سال، با نسبت اختلاط ۷۰ درصد با آب کانال تأثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر روی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک رسی در منطقه مورد مطالعه ندارد. برای حصول نتایج بیشتر، پیشنهاد می‌گردد استفاده از زه آب با اختلاط‌های مختلف با آب کانال آبیاری برای خاک‌هایی با بافت‌های متفاوت در سطح منطقه اجرا شده و تأثیر آن در سطح وسیع‌تری تحقیق گردد.
- ### ۵- قدردانی
- بدین وسیله از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل به خاطر تصویب و تأمین اعتبار این تحقیق در قالب طرح پژوهشی با کد ۴۳-۸۹۰-ARE تشکر و قدردانی می‌گردد.
- ### ۶- مراجع
- [۱] عباسی، ف.، "فیزیک خاک پیشرفته"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۶.
- [۲] رسولزاده، ع.، موسوی، ع. ا.، "بررسی عدم اطمینان در برآورد پارامترهای مدل آب زیرزمینی WTF با استفاده از روش معکوس"، هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید عباسپور، تهران، ایران، ۱۳۸۷، ۸-۱۰.
- [3] Poeter, E. P., Hill, M. C., "Inverse Models: A Necessary Next Step in Ground Water modeling", *Ground Water*, 1997, 35 (2), 250-260.
- [4] Inoue, M., Simunek, J., Shiozawn, S., Hopmans, J. W., "Simulataneous Stimation of Soil Hydraulic and Solute Transport Parameters from Transient Infiltration Experiments", *Advances in Water Resources*, 2000, 23 (7), 677-688.
- [5] Ramos, T. B., Gongalves, M. C., Martins, J. C., van Genuchten, M. Th., Pires, F. P., "Estimating of Soil Hydraulic Properties from Numerical Inversion of Tension Disk Infiltrometer Data", *Vadose Zone Journal*, 2006, 5, 684-696.

- [20] Rasoulzadeh, A., "Evaluation of Water Retention Functions by Developing a Code for Quantifying the Hydraulic Functions of on Saturated Soils", *Journal of Food, Agriculture & Environment* 2010, 8 (2), 1180-1184.
- [21] Celik, I., Ortas, I., Kilic, S., "Effects of Compost, Mycorrhiza, Manure and Fertilizer on Some Physical Properties of a Chromoxeret Soil", *Soil & Tillage Research*, 2004, 78, 59-67.
- [22] Bagarello, V., Iovino, M., Palazzolo, E., Panno, M., Reynolds, W. D., "Field and Laboratory Approaches for Determining Sodicity Effects on Saturated Soil Hydraulic Conductivity", *Geoderma*, 2006, 130, 1-13.
- Application of Waste Waters", *Journal Socof Hazardous Materials*, 2009, 164, 415-422.
- [17] Augéard, B., Assouline, S., Fonty, A., Kao, C., Vauclin, M., "Estimating Hydraulic Properties of Rainfall-Induced Soil Surface Seals from Infiltration Experiments and X-Ray Bulk Density Measurements", *Journal of Hydrology*, 2007, 341, 12-26.
- [18] Rasoulzadeh, A., "Evaluation of Parameters estimation using Inverse Method in Unsaturated Porous Media", 10th International Agricultural Engineering Conference (IAEC), ngkok, Thailand, 7-10 December, 2009.
- [19] Dexter, A. R., Czyż, E. A., Richard, G., Reszkowska, A., "A User-Friendly Water Retention Function that Takes Account of the Textural and Structural Pore Spaces in Soil", *Geoderma*, 2008, 143, 243-253.

EXTENDED ABSTRACT

Investigation of Saline Drainage Water Reuse Effect on Soil Hydraulic Properties Using Inverse Method (Case Study: Moghan Plain)

Ali Rasoulzadeh ^{a,*}, Neda Nasiri ^b

^a Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

^b Faculty of Agriculture, Islamic Azad University Miyaneh Branch, Miyaneh, Iran

Received: 05 February 2013; Accepted: 10 April 2013

Keywords:

Drainage water, HydroGeoSphere, Soil moisture characteristic curve, Hydraulic conductivity

1. Introduction

The shortage of water resources of good quality is becoming an important issue in the arid and semi-arid zones, hence using of water resources of marginal quality such as drainage water has become an important consideration. In this study, saline drainage water reuse effect on soil hydraulic properties was investigated in Moghan plain. This objective was examined by Levenberg-Marquart optimization algorithm [1] for inverse modeling to estimate some hydraulic properties of soil in transient condition along with forward model (HydroGeoSphere) as a numerical code to simulate water flow in unsaturated porous media based on Richards' equation.

2. Methodology

2.1. Study area and experimental device

Study area is located at Moghan plain in northwest of Iran. Undistributed soil samples were taken by cylinders with inner diameter of 30 cm and height of about 50 cm. Treatments were T1 (irrigation with canal water), T2 (irrigation with mixture of 30% drainage water and 70% canal water) and T3 (irrigation with mixture of 50% drainage water and 50% canal water) at three replications in a completely random design. Artificial rainfall experiments were conducted on top of the columns and free drainage from the bottom of columns was measured in the laboratory. Rainfall intensity was controlled by a rotary pump connected to a raindrop maker that produces water drops.

2.2. Numerical model description

HydroGeoSphere solves the three dimensional modified form of Richards' equation for variably-saturated flow using a Galerkin finite element approach [2]. The finite element grid was generated automatically using the pre-processor GRID BUILDER [3]. Grid independency was implemented and the discretization in the vertical direction was yielded 1.5 cm. The intent of this discretization was to be able to resolve vertical water flow with precision. In this study, we developed an inverse method for estimating parameters based on Levenberg-Marquardt minimization algorithm in C++ programming language. Inverse model was used to estimate the saturated hydraulic conductivity (K_s), and soil water retention function parameters of van Genuchten (α , β , and θ_r) which were unknown parameters in the unsaturated porous media using measured artificial rainfall and free drainage.

3. Results and discussion

Calibration periods showed that the estimated free drainage using the optimized parameters exhibits a good match with the observed free drainage for all treatments. Hence one could conclude that Richards' equation along

* Corresponding Author

E-mail addresses: rasoulzadeh@uma.ac.ir (Ali Rasoulzadeh), neda.n1986@gmail.com (Neda Nasiri).

with van Genuchten's retention functions can successfully describe the unsaturated water flow in the treatments. Statistical analysis showed that the calibration is sensitive to β more than the other parameters. The K_s decreased significantly in T3 ($P < 0.05$) but there was no significant difference ($P < 0.05$) between T1 and T2. The results showed that parameters of van Genuchten have not been changed significantly in all treatments with application of drainage water reuse at probability level of 50% (Table 1).

Table 1. Estimated hydraulic properties of treatments (K_s : saturated hydraulic conductivity, θ_s : saturated water content, θ_r : residual water content, α and β : shape parameters)

Treatment	K_s (cm min^{-1})	θ_r ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	α (cm^{-1})	β
T1	0.220 ^{a*}	0.143 ^a	0.005 ^a	1.21 ^a
T2	0.226 ^a	0.140 ^a	0.005 ^a	1.20 ^a
T3	0.166 ^a	0.150 ^a	0.006 ^a	1.22 ^a

* Same letter in column indicates no significant difference ($P < 0.05$)

4. Conclusions

Due to hysteresis effect, soil water retention curve has two desorption and sorption branches. Ordinarily, the desorption curve is measured by gradually and monotonically extracting water from initially saturated samples in the laboratory [4]. But the sorption curve is essential for modeling water and solute transport in unsaturated porous media. To overcome these problems indirect methods such as inverse method can be used to identify the basic flow and transport parameters. Hydraulic properties were estimated by inverse method at three replications in a completely random design. Estimated hydraulic properties succeeded to reproduce the observed free drainage in the transient condition, indicating van Genuchten functions along with Richards' equation can be used to simulate water flow in the treatments. The results illustrated that irrigation with the mixture of 30% of drainage and 70% canal water (T2) did not affect soil hydraulic properties significantly ($P < 0.05$) in the fine texture soil of study area after one year.

5. References

- [1] Marquardt, D. W., "An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters", SIAM, 1963, PP 431-441.
- [2] Therrien, R., McLaren, R. G., Sudicky, E. A., "HydroGeoSphere: A Three- Dimensional Model Describing Fully-Integrated Subsurface and Surface Flow and Solute Transport", University of Waterloo, Canada, 2008.
- [3] McLaren, R. G., "GRID BUILDER. A Pre-processor for 2-D, Triangular Element, Finite-Element Programs", Groundwater Simulation Group, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2004.
- [4] Hillel, D., "Environmental Soil Physics", Academic press, New York, 1998.