نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۱، ص. ۱۲۶۷-۱۲۵۷

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.5, Nov.-Dec. 2012, p. 1257-1267

ارزیابی عملکرد زهکشی زیرزمینی با استفاده از مدل SWAP (مطالعه موردی شبکه زهکشی ران بهشهر)

وحیدرضا وردی نژاد [۱*]- حامد ابراهیمیان [۲]- حجت احمدی [۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۴/۴

چکیده

به منظور ارزیابی عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی، از مدل شبیه‌سازی شرایط غیرماندگار زهکشی، SWAP، استفاده شد. این مدل با استفاده از داده‌های روزانه اندازه‌گیری شده به مدت ۱۲۰ روز طی سال ۱۳۸۵، در شبکه زهکشی ران بهشهر که شامل عمق سطح ایستابی، دبی خروجی از زهکش، شوری عصاره اشباع خاک و شوری زه‌آب خروجی از زهکش بود، مورد واسنجی قرار گرفت. واسنجی مدل SWAP به روش مدل‌سازی معکوس و از طریق اتصال آن به مدل WinPEST انجام شد. به منظور واسنجی پارامترهای کمّی، دو تابع هدف به طور همزمان به منظور حداقل کردن اختلاف مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عمق سطح ایستابی و شدت زهکشی در نظر گرفته شد. همچنین برای واسنجی پارامترهای کیفی، تابع هدف کمینه کردن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده شوری عصاره اشباع خاک تعریف شد. مقادیر شبیه‌سازی شده شدت تخلیه زهکش و سطح ایستابی تطابق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده داشت. مقدار خطای مطلق برآورد سطح ایستابی و شدت زهکشی به ترتیب ۷ و ۴ درصد به دست آمد. زهکشی تجمعی اندازه‌گیری شده حدود ۷/۵ درصد (۵/۳ میلی‌متر) بیشتر از مقدار شبیه‌سازی شده بود. مدل SWAP همچنین توانست با دقت قابل قبولی شوری خاک و زه‌آب خروجی از زهکش را شبیه‌سازی نماید. نتایج این تحقیق نشان داد که با مدل‌سازی معکوس، عملکرد مدل SWAP به طور قابل توجهی بهبود یافت.

واژه‌های کلیدی: سطح ایستابی، شوری، مدل‌سازی معکوس، واسنجی

مقدمه

در بیشتر نقاط ایران سیستم‌های زهکشی عمدتاً برای جلوگیری از ماندابی شدن اراضی و کنترل شوری، طراحی و نصب می‌شوند. به‌منظور طراحی پارامترهای زهکش زیرزمینی دو دسته معادلات به کار برده می‌شود. در دسته اول با فرض شرایط ماندگار، از معادلاتی مانند هوخهات و ارنست استفاده می‌شود. در دسته دوم، شرایط غیرماندگار در نظر گرفته می‌شود و روابط توسعه یافته توسط گلاور- دام، دوزو و هلینگا، کراینهف و ماسلند به کار برده می‌شوند (۱۸). اگر چه شرایط غیرماندگار نسبت به شرایط ماندگار به حالت واقعی نزدیک‌تر است، ولی کاربرد آنها با توجه به فرضیات متعددی که دارند محدود است.

معادلات شرایط غیرماندگار عمدتاً در خاک‌هایی کاربرد دارد که نیمرخ آنها همگن باشد. همچنین این دسته معادلات، پویایی انتقال رطوبت در ناحیه غیر اشباع را در نظر نمی‌گیرند و شدت جریان را به صورت تابعی از سطح ایستابی در نظر می‌گیرند (۱۸). عمق و فاصله زهکش‌های مزرعه مستقل از یکدیگر نبوده و باید قادر باشند که در ترکیب با یکدیگر، آب مازاد و نمک را تخلیه نمایند. مدل‌های شبیه‌سازی شرایط غیرماندگار، ابزاری توانمند برای تشریح این فرایندها به شمار می‌روند و همچنین امکان بررسی دامنه گسترده‌ای از تأثیر پارامترهای ورودی را فراهم می‌کنند تا بتوان سناریوهای مناسب مدیریتی را انتخاب کرد. بزرگترین محدودیت این مدل‌ها، فقدان داده‌های ورودی قابل اعتماد برای کاربردهای عملی این مدل‌ها و نیز نبود قاعده‌ای مشخص به منظور واسنجی آنها می‌باشد (۲۰). جامع‌ترین مدل‌های موجود در زمینه شبیه‌سازی روابط آب و خاک و گیاه و مسائل زهکشی، مدل‌های اگرو هیدرولوژیکی

۱و۳- استادیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: verdinejad@gmail.com)
۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

Archive of SID
www.SID.ir

DRAINMOD (۲۲) و SWAP (۲۵) می‌باشد. در ارزیابی پارامترهای کمّی و کیفی زهکش زیرزمینی عمده تحقیقات با استفاده از مدل DRAINMOD انجام گردیده است. با این حال تحقیقاتی نیز توسط مدل SWAP انجام گردیده که عمدتاً در زمینه شبیه‌سازی عملکرد محصول و حرکت آب و املاح در خاک بوده است (۲۰). SWAP مدلی یک بعدی است که می‌تواند تأثیر مقدار معین زهکشی را بر پارامترهای کمی و کیفی آب خاک در ناحیه غیر اشباع بررسی کند. این مدل به منظور طراحی پارامترهای زهکشی در ارتباط با تعرق واقعی و عملکرد محصول توسط فدس و همکاران (۱۴) و نیز در ارتباط با اثرات متقابل آبیاری، زهکشی و عملکرد محصول، توسط باستیانسن و همکاران (۱۱) با موفقیت به کار گرفته شده است. محققین مختلفی از جمله سرور (۱۹)، کلنر (۱۵)، بیکما و همکاران (۱۲)، ون دم و فدس (۲۴)، اسمتز و همکاران (۲۳) و سرور و همکاران (۲۱)، مدل SWAP را برای شبیه‌سازی شرایط آبیاری و زهکشی پروژه‌های مختلف در پاکستان به کار گرفته‌اند. در ایران مدل SWAP عمدتاً به منظور شبیه‌سازی رطوبت و شوری نیمرخ خاک و نیز پیش‌بینی عملکرد محصول تحت تنش‌های شوری و کم آبی بکار گرفته شده است. دهقان و همکاران (۶) به منظور پیش‌بینی رطوبت نیمرخ خاک و نیز تخمین اجزای بیلان آب در مقیاس مزرعه؛ وردی نژاد و همکاران (۹) در تعیین عمق بهینه آبیاری محصولات زراعی در شرایط شوری؛ اکبری و همکاران (۳) در بررسی و تخمین شوری خاک در مقیاس مزرعه در منطقه رودشت اصفهان؛ نوری و همکاران (۸) در برآورد عملکرد گندم و ذرت علوفه‌ای در شرایط محدودیت توأم آبیاری و شوری؛ وردی نژاد و همکاران (۱۰) به منظور الگوبندی عملکرد محصولات مختلف زراعی در شرایط شوری آب آبیاری؛ خاکساری و همکاران (۴) در بررسی مزرعه‌ای آبشویی املاح در منطقه چاه افضل استان یزد و خانی و همکاران (۵) در برآورد عملکرد چغندرقند تحت کمیت و کیفیت‌های مختلف آبیاری، مدل SWAP را مورد بررسی و تحلیل قرار دادند که در اکثر این پژوهش‌ها، این مدل به منظور تخمین و پیش‌بینی حرکت آب و املاح در خاک‌رخ و نیز پیش‌بینی عملکرد محصول، نتایج قابل قبولی را ارایه داد. در این مطالعه برای بهبود عملکرد مدل SWAP از روش مدل‌سازی معکوس برای واسنجی مدل استفاده گردید. مدل‌سازی معکوس یکی از روش‌های تخمین ویژگیهای خاک می‌باشد که در واقع یک روش بهینه‌سازی است که با کمینه کردن یک تابع، قادر به تخمین پارامترها می‌باشد و عمدتاً در محیطهای اشباع به کار گرفته شده است (۷). از محاسن این روش این است که روشی سریع و ارزان می‌باشد و پارامترهای مؤثر را تخمین می‌زند و نیز توانایی برآورد همزمان ویژگیهای هیدرولیکی و انتقال املاح خاک را دارد. این روش اطلاعاتی نیز در زمینه عدم اطمینان و همبستگی بین پارامترها ارایه می‌کند. محدودیت‌های اصلی روش‌های مدلسازی معکوس، ناپایداری راه‌حل‌ها، محدودیت در تعداد و نیز غیرمنحصر به فرد بودن پارامترهای تخمینی می‌باشند. با منظور کردن دامنه گسترده‌تری از داده‌های اندازه‌گیری شده؛ حل الگوریتم با چندین حدس اولیه و کم انتخاب کردن تعداد پارامترهای مجهول، می‌توان این خطاها را تا حدی برطرف نمود (۷). به منظور شبیه‌سازی پارامترهای کمّی شامل شدت تخلیه زهکش زیرزمینی و نوسانات سطح ایستابی و پارامترهای کیفی شامل شوری خاک و زه‌آب خروجی از زهکش زیرزمینی، مدل SWAP مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق داده‌های اندازه‌گیری شده در شبکه زهکشی شرکت ران بهشهر برای واسنجی و ارزیابی مدل SWAP مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مدل SWAP

SWAP مدل یک بعدی شرایط غیرماندگار به منظور شبیه‌سازی جریان آب، گرما، املاح و رشد محصول در یک سیستم ناهمگن خاک-ریشه و متأثر از آب زیرزمینی می‌باشد (۲۵). شرایط مرزی بالا توسط تبخیر و تعرق، آبیاری و بارندگی تعیین می‌شود. تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس داده‌های روزانه هواشناسی و با استفاده از معادله پنمن-مانتیس- فائو محاسبه می‌گردد (۲۵). مدل SWAP حرکت آب در خاک‌رخ را بر اساس معادله ریچاردز و با روش حل تفاضل‌های محدود، محاسبه می‌کند که برای حل آن، نیاز به توابع هیدرولیکی (توابع هدایت آبی غیر اشباع و منحنی مشخصه‌ی رطوبتی) هر لایه از خاک می‌باشد. در این مدل، توابع تحلیلی ارایه شده توسط ون‌گنوختن (۲۶) برای تعریف منحنی مشخصه رطوبتی و مدل موبینه‌ای معلم (۱۷) برای منحنی هدایت آبی غیراشباع استفاده می‌شود. در مدل SWAP برای تعیین انتقال املاح در خاک از معادله‌ی بیلان انتقال املاح در جهت قائم از رابطه‌ی ۱ استفاده می‌شود (۱۶):

$$\frac{\partial(\theta c + Q\rho_b)}{\partial t} = -\frac{\partial(qc)}{\partial z} + \frac{\partial\left[\theta(D_{dif} + D_{dis})\frac{\partial c}{\partial z}\right]}{\partial z} - \mu(\theta c + Q\rho_b) - K_r Sc \qquad (۱)$$

که در آن θ رطوبت خاک ($cm^3\ cm^{-3}$)، c غلظت املاح در آب خاک ($g\ cm^{-3}$)، ρ_b چگالی ظاهری خاک ($g\ cm^{-3}$)، q شدت جریان آب ($cm\ day^{-1}$)، D_{dif} پخشیدگی املاح ($cm^2\ day^{-1}$)، D_{dis} ضریب انتشار ($cm^2\ day^{-1}$)، Q میزان جذب املاح در سطح ذرات خاک (gg^{-1})، μ ثابت شدت از نوع درجه یک برای املاح فاز مایع (day^{-1})، S نرخ جذب توسط ریشه (day^{-1})، K_r فاکتور ترجیحی جذب ریشه (-)، z عمق (cm) و t زمان (day) می‌باشد. ثابت شدت (μ) در رابطه‌ی فوق برای در نظر گرفتن فرآیندهای تولید و مصرف مانند نیترات زایی، نیترات زدایی و تخریب املاح است (۷). برای تعیین میزان

Archive of SID

www.SID.ir

جذب املاح در سطح ذرات خاک از ایزوترم جذب غیرخطی فروندلیخ استفاده می‌شود. شرایط مرزی پایین دست می‌تواند با یکی از موارد حضور سطح ایستابی، شدت جریان (نشت) مشخص از یک آبخوان نیمه محصور، یک رابطه نمایی معین بین سطح ایستابی و شدت جریان تحتانی و یا شدت جریان صفر و در نهایت با زهکشی آزاد تعیین شود. مدل SWAP تمایزی بین نرخ تخلیه زهکش، q_{drain} (بر حسب $cm\ day^{-1}$) و شدت جریان آب زیرزمینی از انتهای خاک‌رخ شبیه‌سازی شده (q_{bot}) را قایل می‌شود. نرخ تخلیه زهکش تابعی از سطح ایستابی شبیه‌سازی شده در وسط دو زهکش می‌باشد. نرخ تخلیه‌ی زهکش توسط معادلات شرایط ماندگار هوخهات و ارنست محاسبه می‌گردد که اختلاف بین خصوصیات هیدرولیکی لایه‌های خاک‌رخ، مشخص می‌کند که از معادله‌ی هوخهات یا ارنست استفاده گردد. معادله‌ی ساده شده هوخهات در مدل SWAP به صورت رابطه‌ی ۲ می‌باشد (۱۶).

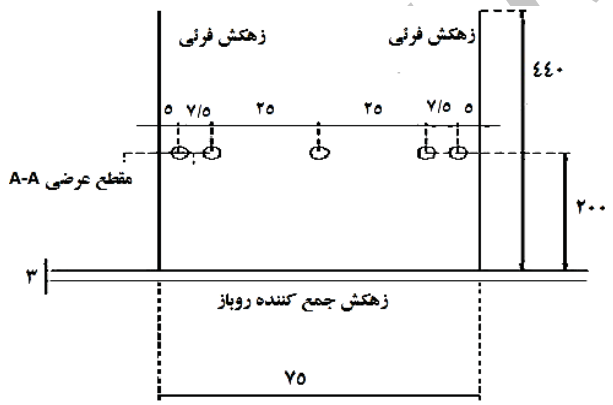
$$q_{drain} = \frac{8K_{sat}^{h} d\Delta h_{tot} + 4K_{sat}^{h} \Delta h_{tot}^{2}}{L^{2}} \qquad (۲)$$

که در آن q_{drain} شدت تخلیه زهکش ($cm\ day^{-1}$)، K_{sat}^{h} هدایت هیدرولیکی اشباع افقی ($cm\ day^{-1}$)، d عمق معادل (cm)، Δh_{tot} حداکثر بار آبی در بالای تراز زهکش (cm) و L فاصله‌ی بین زهکش‌ها (cm) می‌باشد. پارامتر d تابعی از فاصله‌ی بین زهکش‌ها، شعاع زهکش (r_0) و عمق لایه محدود کننده از تراز زهکش (D) می‌باشد و برای حل نیاز به یک فرآیند تکراری دارد (۱۸). یک تقریب مناسب برای عمق معادل به صورت رابطه ۳ می‌باشد که توسط ریتزما ارایه و مبنای تعیین عمق معادل در مدل SWAP می‌باشد که تحت شرایطی کاربرد دارد که عمق لایه‌ی محدود کننده زیاد نباشد (۲۰):

$$d = \frac{\frac{\pi L}{8}}{\frac{\pi L}{8D} + \ln(\frac{D}{L}) + \ln(\frac{L}{\pi r_0})} \qquad (۳)$$

منطقه‌ی مورد مطالعه

اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه در شمال شرقی شهرستان بهشهر و در حاشیه‌ی جنوبی خلیج گرگان واقع است. آمار و اطلاعات لازم در این تحقیق از پروژه‌ی زهکشی شرکت ران بهشهر جمع آوری گردید. مساحت شبکه‌ی زهکشی ران حدود ۸۵۰ هکتار، ارتفاع متوسط اراضی شبکه از سطح دریا حدود ۲۲- متر، میانگین دمای سالانه منطقه ۱۶ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه منطقه طی یک دوره‌ی آماری ۲۰ ساله از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۵، ۵۷۷ میلی‌متر می‌باشد. کشت محصولات (گندم و جو) این منطقه به صورت دیم بوده و زهکش‌ها فقط در اثر بارش باران فعال می‌گردند. برای بررسی عملکرد زهکش‌ها، یک مزرعه آزمایشی با وسعت ۳/۳ هکتار در مرکز اراضی و بین دو زهکش مزرعه انتخاب گردید. نتایج لایه‌بندی خاک نشان داد که بافت خاک تا عمق ۴۰ سانتی‌متری شن لومی، از عمق ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری لوم سیلتی و از عمق ۱۰۰ تا ۱۵۰سانتی‌متری رس سیلتی می‌باشد. متوسط اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در مرحله طراحی به روش چاهک و برابر ۰/۶ متر در روز به دست آمد که مبنای تعیین فاصله زهکش‌های مزرعه قرار گرفته است. در شبکه‌ی مذکور نرخ تخلیه طراحی زهکش برابر ۱/۵ میلی‌متر در روز و فاصله و عمق نصب زهکش‌ها به ترتیب ۷۵ و ۱/۵ متر بوده و متوسط طول لوله‌ها ۴۴۰ متر می‌باشد. حداکثر بار آبی روی زهکش ۰/۵ متر بوده که عمق تثبیت سطح ایستابی در مرحله طراحی برابر ۱ متر می‌باشد. قطر لوله‌های زهکش مزرعه ۱۲۵ میلی‌متر در نظر گرفته شده و حداکثر بار آبی بالای تراز زهکش (Δh_{tot}) بر اساس اندازه‌گیری رقوم سطح آب چاهک مشاهده‌ای تعبیه شده در وسط بین دو زهکش مزرعه محاسبه گردید. در این طرح از پوسته برنج به عنوان پوشش اطراف زهکش استفاده گردید (۱). شکل ۱ نقشه‌ی مزرعه آزمایشی و محل کارگذاری پیزومترها را نشان می‌دهد. به منظور ارزیابی عملکرد مدل SWAP پارامترهای مورد نیاز طی دوره ارزیابی (ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند ماه سال ۱۳۸۵) اندازه‌گیری و یا جمع آوری گردید که در جدول ۱ ارایه گردیده است. کیفیت عصاره‌ی اشباع خاک طی این دوره در دو نوبت و از اعماق مختلف خاک شامل ۲۵-۰، ۵۰-۲۵، ۷۵-۵۰، ۱۰۰-۷۵ و ۱۵۰-۱۰۰ سانتی‌متری در نقطه وسط بین دو زهکش مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه‌ی شیمیایی خاک از پنج عمق مختلف، طی دو نوبت اندازه‌گیری در جداول ۲ و ۳ ارایه شده است. از زه‌آب خروجی زهکش زیرزمینی به منظور تعیین خصوصیات کیفی شامل میزان شوری (EC)، اسیدیته (pH) و درصد سدیم قابل تبادل (ESP) چندین بار طی دوره ارزیابی نمونه‌گیری شد.



شکل ۱- نقشه مزرعه آزمایشی و محل کارگذاری پیزومترها (ابعاد بر حسب متر می‌باشد)

واسنجی مدل SWAP

واسنجی مدل SWAP به روش مدل‌سازی معکوس و با اتصال آن به مدل PEST صورت گرفت. در این پژوهش برای تخمین بهینه پارامترها از نسخه WinPEST استفاده گردید که پارامترها را به روش رگرسیون غیرخطی (الگوریتم مارکوارت-لاونبرگ) بهینه می‌کند (۱۳).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- پارامترهای اندازه‌گیری یا جمع‌آوری شده به منظور ارزیابی عملکرد مدل SWAP

پارامتر	روش اندازه‌گیری یا جمع‌آوری شده	دفعات اندازه‌گیری
بافت خاک	روش USDA	یکبار
چگالی ظاهری خاک	نمونه‌گیر مغزی	یکبار
هدایت هیدرولیکی اشباع خاک	روش چاهک	یکبار
رقوم سطح آب چاهک	میله فلزی	روزانه
شوری زه‌آب خروجی	هدایت الکتریکی سنج	۷ بار
شوری عصاره اشباع خاک	هدایت الکتریکی سنج	۲ بار
رطوبت FC و PWP	صفحات فشاری	یکبار
شدت تخلیه از زهکش	روش حجمی	روزانه
اطلاعات هواشناسی	ایستگاه هواشناسی	روزانه

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی خاک از اعماق مختلف طی نوبت اول اندازه‌گیری (ابتدای دوره ارزیابی)

عمق (cm)	EC (dS/m)	pH	Na^{+}(meq/L)	$Ca^{++} + Mg^{++}$ (meq/L)	ESP (%)
۰-۲۵	۳۵/۴	۷/۵	۲۲۰	۴۶/۲	۳۹/۸
۲۵-۵۰	۴۹/۲	۷/۱	۳۳۶/۵	۶۷/۸	۴۵/۶
۵۰-۷۵	۵۳/۵	۷/۴	۳۳۷	۷۲/۷	۴۴/۸
۷۵-۱۰۰	۶۲/۲	۷/۵	۴۶۴/۳	۹۴/۸	۴۹/۵
۱۰۰-۱۵۰	۷۵/۴	۷/۳	۵۱۹/۵	۱۰۵/۳	۵۱/۱

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی خاک از اعماق مختلف طی نوبت دوم اندازه‌گیری (انتهای دوره ارزیابی)

عمق (cm)	EC (dS/m)	pH	Na^{+}(meq/L)	$Ca^{++} + Mg^{++}$ (meq/L)	ESP (%)
۰-۲۵	۸/۸	۸/۲	۸۰/۲	۱۰	۳۴/۱
۲۵-۵۰	۳۴/۹	۷/۹	۲۸۶/۳	۳۹/۱	۴۸/۵
۵۰-۷۵	۵۲	۷/۹	۴۱۸/۹	۷۶/۲	۴۹/۷
۷۵-۱۰۰	۴۹/۸	۷/۸	۴۲۶/۱	۶۴/۳	۵۲/۳
۱۰۰-۱۵۰	۶۱/۴	۷/۸	۴۳۳/۶	۹۷/۲	۴۷/۵

بخش‌های مدل شامل تعریف و شناسایی پارامترها، داده‌های مشاهده‌ای و نهایتاً اجرای مدل و برآورد پارامترها می‌باشد. بر اساس بررسی‌های صحرایی، عمق لایه‌ی غیرقابل نفوذ برابر۱۵۰ سانتی‌متر تشخیص داده شد. لذا پارامترهای مدل برای سه لایه خاک فوقانی، واسنجی گردید. واسنجی مدل شامل پارامترهای هیدرولیکی لایه‌های خاک، پارامترهای انتقال املاح خاک و پارامترهای زهکشی بود که به

دلیل عدم اندازه‌گیری رطوبت خاک، امکان واسنجی پارامترهای هیدرولیکی (پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت آبی غیراشباع) خاک به روش معکوس نبود؛ لذا پارامترهای هیدرولیکی توسط توابع انتقالی تخمین زده شد که مقادیر آنها در جدول ۴ ارایه گردیده که در آن θ_{res} رطوبت باقیمانده (cm^3cm^{-3})، θ_s رطوبت اشباع (cm^3cm^{-3})، $\alpha(cm^{-1})$ و $n(-)$ پارامترهای تجربی شکل و λ ضریب تجربی (-) می‌باشند. اما با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده شدت تخلیه‌ی زهکش، سطح ایستابی و شوری عصاره‌ی اشباع خاک و زه‌آب خروجی، واسنجی پارامترهای زهکش زیرزمینی و انتقال املاح به روش معکوس صورت گرفت. برخی پارامترهای کمّی زهکش زیرزمینی از قبیل فاصله‌ی بین زهکش‌ها، عمق نصب زهکش، عمق لایه‌ی محدود کننده، عمق معادل و محیط خیس شده زهکش دارای معنی فیزیکی بوده و با دقت مناسب اندازه‌گیری شدند؛ لذا به همان صورت وارد مدل گردیدند.

www.SID.ir

جدول ٤- مقادیر پارامترهای هیدرولیکی برای اعماق مختلف خاک (بر حسب سانتی‌متر)

پارامتر	۰-۴۰	۴۰-۱۰۰	۱۰۰-۱۵۰
$\alpha(cm^{-1})$	۰/۰۲۷	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳
$n(-)$	۱/۳۳	۱/۵۱	۱/۳۴
$\theta_{res}(cm^3cm^{-3})$	۰/۰۴۵	۰/۰۶	۰/۰۹
$\lambda(-)$	-۰/۹۸	۰/۰۳۹	-۱/۲۷
$\theta_s(cm^3cm^{-3})$	۰/۴۰	۰/۴۵	۰/۴۹

به منظور واسنجی پارامترهای کمّی زهکش زیرزمینی، لایه‌ی محدود کننده به صورت کاملاً غیرقابل نفوذ در نظر گرفته نشد و شدت جریانی برای آن فرض گردید. اما با توجه به عدم اندازه‌گیری میزان نشت آن، به عنوان یک پارامتر مجهول فرض گردید. براساس نتایج حاصل از پژوهش ابراهیمیان و همکاران، مقاومت جریان نزدیک شونده پارامتری مؤثر بر شدت جریان خروجی از زهکش می‌باشد (۲). در مدل SWAP مقاومت ورودی جریان به صورت مقدار افت بار ورودی (h_e) در واحد میزان بده جریان در واحد طول زهکش تعریف می‌گردد. سرور و همکاران نیز در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که شدت جریان از لایه‌ی محدود کننده، پارامتری مهم در واسنجی مدل SWAP می‌باشد که تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر شدت جریان زهکشی دارد (۲۱). با توجه به اهمیت هدایت هیدرولیکی اشباع، در واسنجی مدل SWAP، علاوه بر مقاومت ورودی زهکش (ER) و شدت جریان از لایه‌ی محدود کننده (BF) ، هدایت هیدرولیکی اشباع افقی خاک (K^h_{sat}) نیز به همراه ER و BF به عنوان بردار مجهولات فرض گردید و همزمان دو تابع هدف کمینه‌سازی به صورت روابط ۴ و ۵ در نظر گرفته شدند:

$$\min\psi(GWL,b)=\sum_{i=1}^{N}w_i\left[GWL_{obs}(t_i)-GWL_{sim}(b,t_i)\right] \qquad (۴)$$

$$\min\xi(q,b)=\sum_{i=1}^{N}w_i\left[q_{obs}(t_i)-q_{sim}(b,t_i)\right] \qquad (۵)$$

که در آن $b(K^h_{sat},BF,ER)$ بردار مجهولات، $GWL_{obs}(t_i)$ و $q_{obs}(t_i)$ به ترتیب سطح ایستابی و شدت تخلیه مشاهده شده زهکش در زمان t_i، $GWL_{sim}(b,t_i)$ و $q_{sim}(b,t_i)$ به ترتیب سطح ایستابی و شدت تخلیه زهکش شبیه‌سازی شده با استفاده از آرایه بردار مجهولات در زمان t_i؛ N تعداد داده‌های اندازه گیری شده و w_i ضریب وزنی می‌باشد که برای تمام داده‌ها یک فرض گردید. به منظور بهینه‌سازی پارامترهای انتقال املاح خاک، ضرایب پخشیدگی مولکولی (D_{dif})، انتشارپذیری (λ) و ضرایب تجربی ایزوترم فروندلیخ (K_d,β) به عنوان بردار مجهولات فرض و تابع هدف کمینه کردن اختلاف بین شوری عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل تعریف گردید:

$$\min\varphi(EC_e,b)=\sum_{i=1}^{N}w_i\left[EC_{e\ obs}(z,t_i)-EC_{e\ sim}(z,b,t_i)\right] \qquad (۶)$$

که در آن $b(\lambda,D_{dif},K_d,\beta)$ بردار مجهولات، $EC_{e\ obs}(z,t_i)$ شوری مشاهده شده در عمق z و زمان t_i، $EC_{e\ sim}(z,b,t_i)$ مقادیر شبیه‌سازی شده شوری خاک با استفاده از آرایه بردار مجهولات در عمق z و زمان t_i و w_i ضریب وزنی می‌باشد. بهینه‌سازی طی دو مرحله انجام گرفت که در مرحله اول پارامترهای کمّی و در مرحله دوم پارامترهای کیفی زهکش زیرزمینی واسنجی گردید. به منظور ارزیابی عملکرد و بررسی دقت مدل SWAP در پیش‌بینی سطح ایستابی و دبی خروجی زهکش از روابط همبستگی و خطا بین مقادیر مشاهده و برآورد شده استفاده گردید:

$$X_p=\lambda X_m \qquad (۷)$$

که در آن X_m مقادیر اندازه‌گیری شده، X_p مقادیر برآورد شده توسط مدل و λ شیب بهترین خط عبوری می‌باشد. اگر λ کمتر از یک باشد، برآورد کمتر از اندازه‌گیری‌ها (کم برآورد) و اگر λ بیشتر از یک باشد، برآورد بیش از اندازه‌گیری‌ها (بیش برآورد) خواهد بود. مقدار خطای مطلق (AE) برآورد را نیز می‌توان از رابطه ۸ محاسبه کرد. مقدار λ نزدیک به یک و AE نزدیک به صفر نشان دهنده یک برآورد خوب توسط مدل می‌باشد.

$$AE=|1-\lambda|\times100 \qquad (۸)$$

سرور و همکاران در ارزیابی مدل SWAP، زهکشی تجمعی را نیز به عنوان یکی از نمایه‌های ارزیابی در نظر گرفتند که روند شبیه‌سازی در طولانی مدت را نشان می‌دهد. این نمایه در طولانی مدت، بیش یا کم برآوردی مدل را نشان می‌دهد (۲۱).

نتایج و بحث

پارامترهای کمّی زهکش زیرزمینی

مقادیر اندازه‌گیری شده عمق سطح ایستابی نشان دهنده بالا بودن سطح ایستابی واقعی نسبت به شرایط طراحی (عمق تثبیت سطح ایستابی معادل ۱ متر، هدایت هیدرولیکی اشباع افقی برابر ۰/۶ متر بر روز و عمق و فواصل زهکش‌ها به ترتیب ۱/۵ و ۷۵ متر) بود که از کم برآورد ضریب زهکشی طرح (تخلیه ناکافی زهکش‌ها)، یا زیاد گرفتن فواصل زهکش‌ها به دلیل خطا در تخمین پارامترهای طراحی فواصل زهکش (هدایت هیدرولیکی، عمق معادل و ...) و یا از گرفتگی پوشش زهکش ناشی می‌گردد. بر اساس انتخاب پارامترهای طراحی زهکشی به عنوان ورودی برای مدل، نتایج رضایت بخشی بین مقادیر مشاهده و شبیه‌سازی شده‌ی سطح ایستابی و شدت تخلیه زهکش حاصل نگردید. به منظور واسنجی مدل، مقاومت ورودی زهکش، هدایت آبی اشباع افقی خاک و شدت جریان از لایه‌ی

Archive of SID

www.SID.ir

محدود کننده به عنوان پارامترهای مؤثر بر شدت تخلیه‌ی زهکش و سطح ایستابی فرض و این پارامترها بر اساس روابط ۴ و ۵ و با استفاده از برنامه WinPEST محاسبه گردید که پارامترهای بهینه واسنجی شده مطابق جدول ۵ می‌باشند. براساس پارامترهای واسنجی شده، عملکرد مدل به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافت (شکل‌های ۲ و ۳). با توجه به شکل ۲، در روز اول ارزیابی سامانه، مقدار بارندگی صفر بوده و عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده برابر ۲۲ سانتی‌متر و شبیه‌سازی مدل SWAP نیز برابر ۲۲/۴ سانتی‌متر می‌باشد. همچنین با توجه به شکل ۳، در روز اول، شدت تخلیه زهکش اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل، به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۶۶ میلی‌متر در روز می‌باشد. نتیجه واسنجی نشان داد که مقدار مقاومت ورودی به زهکش قابل ملاحظه بوده و برابر ۱۵۵ روز می‌باشد. ابراهیمیان و همکاران، با بررسی صحرایی جریان نزدیک شونده به اطراف لوله زهکش در اراضی طرح، بالا بودن افت بار ورودی به زهکش را تشخیص داده شده بودند و دلایل آن را به گرفتگی پوشش زهکش و حفاری در شرایط نامناسب نسبت داده بودند (۲). با فرض شدت زهکشی معادل ۱/۵ میلیمتر بر روز (ضریب زهکشی طراحی)، مقدار افت ورودی ۰/۲۳ متر می‌باشد که بر اساس شاخص و معیار ارزیابی افت ورودی، عملکرد زهکش متوسط توصیف می‌گردد. بر اساس شاخص ارزیابی افت ورودی، عملکرد سیستم زهکشی خوب، متوسط و ضعیف توصیف می‌شود اگر مقدار افت ورودی به ترتیب کمتر از ۰/۱۵، بین ۰/۱۵ تا ۰/۳ و بیشتر از ۰/۳ متر باشد. مقدار هدایت هیدرولیکی واسنجی شده ۱/۴۳ متر بر روز به دست آمد. هدایت هیدرولیکی به طور جداگانه به روش زه‌آب نیز تحلیل شد و رابطه شیب رابطه بین q/h و h استخراج گردید و با استفاده از رابطه هوخهات و فاصله زهکش‌ها (رابطه‌ی رگرسیونی $q/h = A + Bh$)، مقدار هدایت هیدرولیکی ۱/۵ متر بر روز به دست آمد که اختلاف ۴/۸ درصد با مقدار مدل‌سازی معکوس نشان داد. یکی از دلایل اختلاف شدید بین مقادیر هدایت هیدرولیکی حاصل از روش چاهک و واسنجی شده را می‌توان به تغییرات مکانی این پارامتر در سطح شبکه اشاره کرد. طی مرحله طراحی، نقاط خاصی برای این منظور در نظر گرفته شده است؛ اما در ارزیابی شبکه، سطحی در حدود ۳/۳ هکتار در نظر گرفته شد. براساس نتایج واسنجی، مقدار نشت ۱/۴۵۶ میلیمتر بر روز به دست آمد که نشان دهنده نشت طبیعی از لایه محدود کننده به سمت پایین می‌باشد. در واسنجی مدل SWAP توسط سرور، نشت از لایه محدود کننده به صورت معکوس و رو به بالا بود (۲۱)؛ که این شرایط و یا عکس آن (نشت طبیعی) به تحت فشار یا آزاد بودن آبخوان زیر لایه محدود کننده بستگی دارد. زهکشی تجمعی طی دوره ارزیابی محاسبه و در شکل ۴ ارائه شده است. مطابق شکل ۴، در انتهای دوره (روز ۱۱۹ام ارزیابی)، زهکشی تجمعی اندازه‌گیری و برآورد شده به ترتیب برابر ۷۵/۹۶ و ۷۰/۶۴ میلی‌متر می‌باشد. زهکشی تجمعی اندازه‌گیری شده در انتهای دوره حدود ۷/۵ درصد بیشتر (۵/۳ میلیمتر) از مقدار شبیه‌سازی شده توسط مدل می‌باشد. با مقایسه مقادیر سطح ایستابی مشاهده و اندازه‌گیری شده، رابطه $GWL_p = 0.93GWL_m$ با ضریب تبیین $R^2 = 0.55$ حاصل گردید که نشان از کم برآوردی مدل (λ کوچکتر از ۱) در حالت کلی دارد (شکل ۵). با اینکه همبستگی تا حدی کم می‌باشد، ولی مقدار خطای مطلق برآورد، برابر ۷ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد که اختلاف ناچیز (حداکثر ۲/۱ سانتیمتر) بین مقادیر شبیه‌سازی مدل و اندازه‌گیری شده سطح ایستابی وجود دارد.

جدول ۵- مقادیر بهینه پارامترهای واسنجی شده به روش معکوس

پارامتر	مقدار واسنجی شده
BF(mm/day)	۱/۴۵۶
ER(day)	۱۵۵
K^h_{sat} (m/day)	۱/۴۳

براساس مقادیر شدت زهکشی مشاهده و اندازه‌گیری شده، رابطه $q_p = 0.96q_m$ با ضریب تبیین $R^2 = 0.68$ حاصل شد که نشان می‌دهد مدل SWAP شدت تخلیه زهکشی را نسبت به سطح ایستابی با دقت بهتری برآورد می‌نماید (شکل ۶). خطای مطلق تخمین شدت زهکشی حدود ۴ درصد می‌باشد. با اینکه مدل SWAP، در برآورد سطح ایستابی و جریان خروجی از زهکش کم برآورد دارد، اما این اختلاف اندک می‌باشد. خطاهای مؤثر در کم برآورد سطح ایستابی توسط مدل را می‌توان به عدم یکنواختی در بافت خاک و ظرفیت نگهداری آب توسط خاک؛ عدم لحاظ پاره‌ای از پارامترهای هیدرولیکی کم اثر بر فرایند حرکت آب در خاک طی واسنجی مدل و نهایتاً خطا در برآورد پارامترها نسبت داد. کم برآورد جریان خروجی از زهکش از کم برآورد سطح ایستابی ناشی می‌گردد. زیرا براساس روابط جریان ماندگار، مقدار جریان خروجی از زهکش رابطه‌ی مستقیم با بار هیدرولیکی دارد.

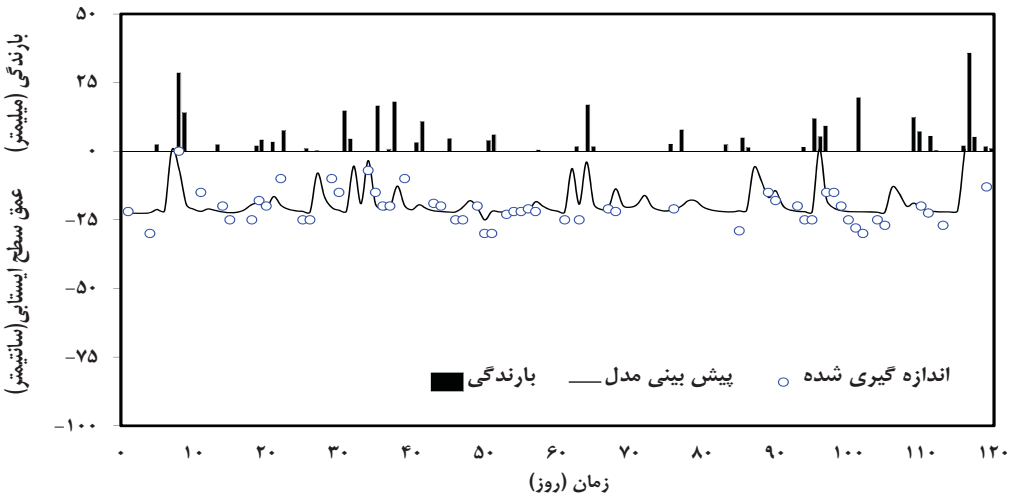
پارامترهای کیفی زهکشی

پارامترهای کیفی β، K_d، D_{dif} و λ براساس رابطه (۶) توسط مدل WinPEST واسنجی شد (جدول ۶). البته پارامترهای دیگری را نیز می‌توان به بردار مجهولات فوق اضافه نمود. اما به دلیل اینکه یکی از معایب روش حل معکوس، واگرایی حل می‌باشد و این رفتار با زیاد شدن تعداد پارامترها شدیدتر می‌گردد؛ لذا در واسنجی پارامترهای کیفی، به چهار پارامتر فوق بسنده شد. پژوهشها نشان می‌دهد که D_{dif} علاوه بر نوع املاح، وابستگی شدید به مقدار رطوبت

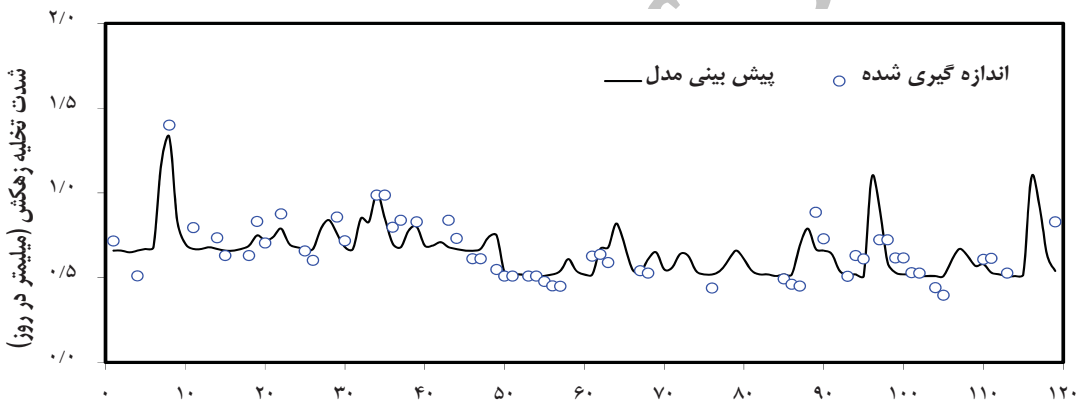
Archive of SID

www.SID.ir

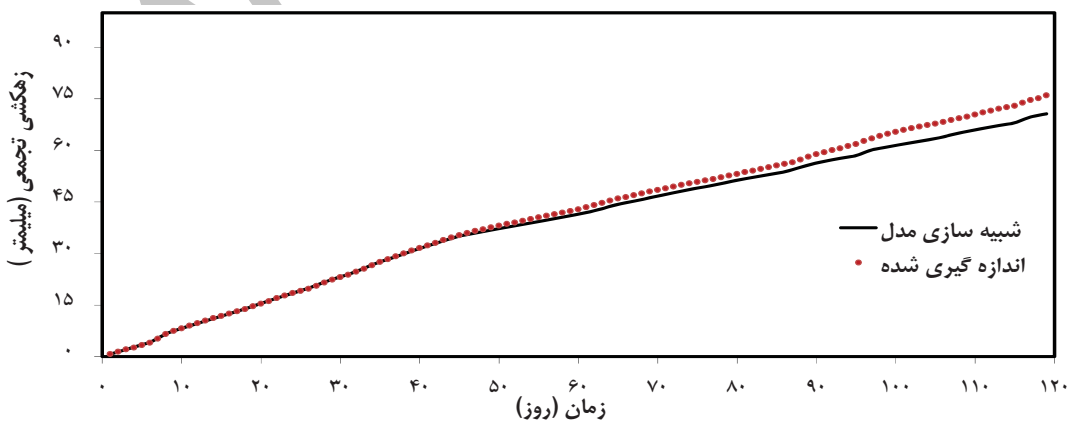
خاک و میزان خمیدگی منافذ دارد. این ضریب برای عمده‌ی خاکها بین ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر مربع بر روز متغیر بوده و شکل هندسی خلل فرج تأثیر قابل توجهی بر مقدار آن دارد (۷).



شکل ۲- مقادیر بارندگی، عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP

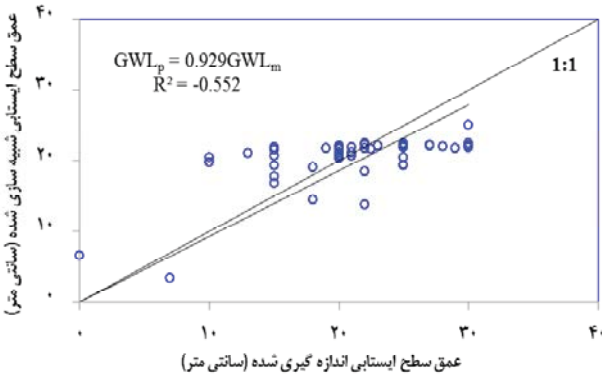


شکل ۳- مقایسه شدت تخلیه زهکش اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP

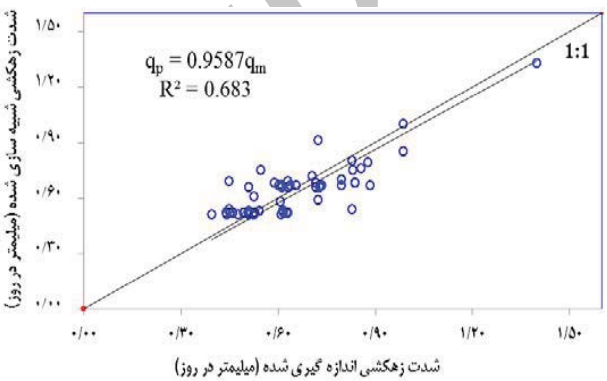


شکل ٤- مقایسه زهکشی تجمعی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدلSWAP

www.SID.ir



شکل ۵-مقایسه سطح ایستابی اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل

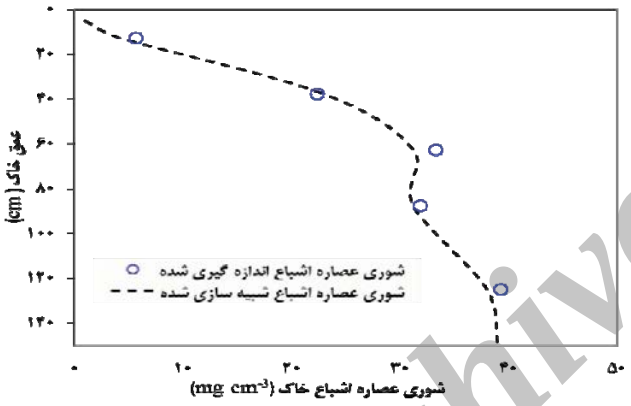


شکل ٦- مقایسه شدت زهکشی اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل

مقدار این ضریب با مدل‌سازی معکوس ۴/۱۸ سانتی‌مترمربع بر روز به دست آمد که حاکی از تأثیر قابل توجه فرایند توده‌ای (روان املاح) در انتقال املاح دارد. ضریب انتشارپذیری (λ)، نقش فرایند انتشار آبی را در فرایند انتقال املاح نشان می‌دهد که مقدار آن ۶/۵۴ سانتی‌متر حاصل شد. این ضریب نیز تابع شدت جریان، بافت خاک، رطوبت و مقیاس مورد مطالعه دارد و در خاکهای درشت بافت نسبت به ریزبافت، کمتر است (۷). دامنه این ضریب در پژوهش‌های مزرعه‌ای، بین ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر متغیر بوده و مقدار آن در این پژوهش نشان از تأثیر کم فرآیند انتشار آبی نسبت به انتقال توده‌ای املاح در فرآیند انتقال املاح دارد. همچنین مقدار توان β معمولاً کمتر از ۲ و دامنه ضریب K_d بین ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب بر میلی‌گرم گزارش شده است (۷). در واسنجی پارامترهای کیفی، هر اندازه تعداد دفعات اندازه‌گیری بیشتر باشد، نتیجه واسنجی دقیق‌تر و از اعتبار بیشتری برخوردار خواهد بود. در این تحقیق شوری عصاره اشباع خاک تنها در دو نوبت اندازه‌گیری گردیده است؛ با این حال واسنجی پارامترهای فوق برای دو نوبت اندازه‌گیری، در تخمین شوری عصاره اشباع خاک، نتایج قابل قبولی را نشان داد. مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده شوری عصاره اشباع خاک نشان از تطابق مناسب بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده دارد (شکل ۷). بنابراین مدل SWAP را می‌توان با واسنجی مناسب برای برآورد روند شوری خاک طی سناریوهای مختلف زهکشی به کار برد. با این حال بهتر است که شوری اندازه‌گیری شده خاک، از نظر تعدد مناسب و دربرگیرنده دامنه گسترده از دوره ارزیابی باشد.

جدول ٦- مقادیر بهینه پارامترهای واسنجی شده به روش معکوس

پارامتر کیفی	مقدار واسنجی شده
$\beta(-)$	۱/۹
$\lambda(cm)$	۶/۵۴
$D_{dif}(cm^2/day)$	۴/۱۸
$K_d(cm^3/mg)$	۸/۱



شکل ۷- مقایسه شوری عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در اعماق مختلف در انتهای دوره ارزیابی

پس از واسنجی پارامترهای کیفی، شوری زه‌آب خروجی از زهکش توسط مدل SWAP شبیه‌سازی شد و با مقادیر مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۸). در اوایل دوره ارزیابی نتایج چندان رضایت بخشی حاصل نگردید اما در ادامه دوره ارزیابی، مدل تا حدود قابل قبولی توانست شوری زه‌آب را مناسب پیش‌بینی کند که یکی از دلایل آن را می‌توان به کم بودن تعداد داده‌های مربوطه نسبت داد که در مرحله واسنجی مدل به کار گرفته شد.

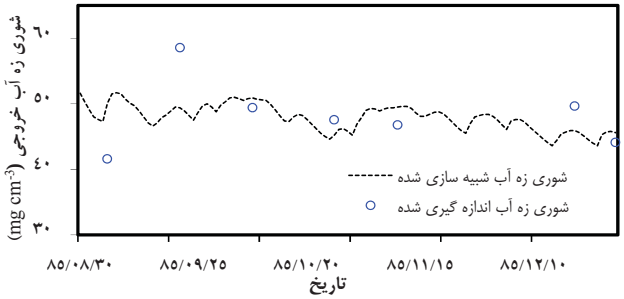
نتیجه‌گیری

در این تحقیق پارامترهای کمّی و کیفی شبکه زهکشی ران بهشهر با استفاده از مدل SWAP مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج

Archive

www.SID.ir

نشان داد که مدل‌سازی معکوس ابزاری توانمند در واسنجی مدل SWAP می‌باشد. شدت تخلیه زهکش و سطح ایستابی شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP تطابق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داد.



شکل ۸- مقایسه شوری زه‌آب خروجی شبیه‌سازی توسط SWAP و اندازه‌گیری شده در طول دوره ارزیابی

مقدار خطای مطلق برآورد سطح ایستابی و شدت زهکشی به ترتیب ۷ و ۴ درصد حاصل گردید. ضریب تبیین به دست آمده برای سطح ایستابی و شدت زهکشی اندازه‌گیری و پیش‌بینی مدل به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۶۸ حاصل شد. نتایج نشان داد که مدل‌سازی معکوس سبب کاهش قابل توجه خطای برآورد می‌شود. در انتهای دوره ارزیابی، زهکشی تجمعی اندازه‌گیری شده حدود ۷/۵ درصد (۵/۳ میلی‌متر) بیشتر از مقدار شبیه‌سازی شده به دست آمد. مدل با دقت نسبتاً خوبی شوری عصاره اشباع خاک را پیش‌بینی کرد اما در پیش‌بینی شوری زه‌آب خروجی در ابتدای دوره ارزیابی عملکرد مناسبی نداشت. از دلایل آن می‌توان به کم بودن تعداد اندازه‌گیری شوری عصاره اشباع خاک به منظور واسنجی اشاره نمود. پارامترهای هیدرولیکی خاک از توابع انتقالی برآورد گردید اما به علت عدم اندازه‌گیری رطوبت خاک، این پارامترها ارزیابی نگردید که این می‌تواند یکی از منابع خطا باشد. مقادیر عمق سطح ایستابی همواره بالاتر از حد کنترل عمق تثبیت سطح ایستابی (یک متر) بود که ناشی از عملکرد نامناسب سیستم زهکشی بود. عمده دلایل آن را می‌توان به نامناسب بودن پارامترها از جمله هدایت هیدرولیکی افقی اشباع و یا گرفتگی پوشش زهکش نسبت داد. همچنین می‌توان به نبود کشت محصول هم اشاره کرد که در مرحله طراحی لحاظ شده است و با اضافه شدن تبخیر و تعرق به معادله بیلان آب، سطح ایستابی در سطح پایین‌تری می‌تواند قرار بگیرد. نتایج نشان داد که مدل SWAP را با واسنجی مناسب، می‌توان با دقت قابل قبول به منظور پیش‌بینی سطح ایستابی، جریان خروجی از زهکش، شوری زه‌آب خروجی و نیز شوری عصاره اشباع خاک سامانه زهکش زیرزمینی به کار برد.

منابع

۱- ابراهیمیان ح.، لیاقت ع.، پارسی نژاد م. و اکرم م. ۱۳۸۷. ارزیابی سیستم زهکش زیرزمینی با پوشش پوسته برنج (مطالعه موردی: شبکه زهکشی شرکت ران بهشهر). نشریه آب و خاک، ۲۲(۲): ۳۷۱-۳۸۱.

۲- ابراهیمیان ح.، لیاقت ع. ا.، پارسی نژاد م. و اکرم م. ۱۳۸۹. بررسی جریان نزدیک شونده در اطراف لوله زهکش با پوشش پوسته برنج (مطالعه موردی: بهشهر). مجله پژوهش آب ایران. ۴(۶): ۲۵-۳۴.

۳- اکبری م.، دهقانی سانیج ح. و ترابی م. ۱۳۸۶. بررسی شوری در مزرعه با استفاده از مدل شبیه‌سازی SWAP (مطالعه موردی برای منطقه رودشت اصفهان). علوم و صنایع کشاورزی (ویژه آب و خاک)، ۲۱(۲): ۱۰۵-۱۱۴.

۴- خاکساری و.، موسوی س. ع. ا.، چراغی س. ع. م.، کامگار حقیقی ع. ا. و زندپارسا ش. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل‌های رایانه‌ای SWAP و LEACHC در آبشویی مزرعه ای املاح خاک در منطقه چاه افضل استان یزد. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰(۲): ۵۸-۶۸.

۵- خانی قریه‌گپی م.، داوری ک.، علیزاده ا.، هاشمی نیا س. م. و ذوالفقاران ا. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل SWAP در برآورد عملکرد چغندرقند تحت کمیت‌ها و کیفیت‌های مختلف آبیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱ (۲): ۱۰۷-۱۱۷.

۶- دهقان ه.، علیزاده ا.، حقایقی م. س. و انصاری ح. ۱۳۸۹. پیش بینی رطوبت نیمرخ خاک در سه مزرعه گندم با استفاده از مدلSWAP. نشریه آب و خاک، ۲۴(۵): ۱۰۰۸-۱۰۱۸.

۷- عباسی ف. ۱۳۸۶. فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه تهران. ۲۵۰ ص.

۸- نوری ح.، لیاقت ع.، پارسی نژاد م. و وظیفه دوست م. ۱۳۸۹. برآورد عملکرد گندم و ذرت علوفه ای در شرایط محدودیت توام آبیاری و شوری با استفاده از مدل آگروهیدرولوژیکیSWAP. نشریه آب و خاک، ۲۴(۶): ۱۲۲۴-۱۲۳۵.

Archive of SID

www.SID.ir

۹- وردی نژاد و.، سهرابی ت.، حیدری ن.، عراقی نژاد ش. و فیضی م. ۱۳۸۹ الف. تعیین عمق بهینه آبیاری محصولات زراعی در شرایط شوری با استفاده از SWAP. نشریه آب و خاک، ۲۴(۳): ۴۶۳-۴۷۵.

۱۰- وردی نژاد و.، سهرابی ت.، فیضی م.، حیدری ن. و عراقی نژاد ش. ۱۳۸۹ ب. الگوبندی عملکرد محصولات مختلف در شرایط شوری آب آبیاری با استفاده از SWAP. مجله دانش آب و خاک، ۲۰/۱(۴): ۹۷-۱۱۱.

11- Bastiaanssen W.G.M., El-Deen Milad Soliman K., Mirabile C., Korani M. and Abdel Gawad S. 1996. Data management related to the application of two crop-water-environment models in Argentina and Egypt. Proceedings of the 16th ICID Congress, Cairo, Egypt, 17 September. pp. 54–68.

12- Beekma J., Kelleners T.J., Boers Th.M. and Raza Z.I. 1995. Application of SWATRE to evaluate drainage of an irrigated field in the Indus Plain, Pakistan. In: L.S. Pereira et al. (Eds.), Crop-Water-Simulation Models in Practice, Wageningen Press, Wageningen, TheNetherlands, pp. 141–160.

13- Doherty J., Brebber L., and Whyte P. 1995. PEST: Model Independent Parameter Estimation. Australian Centre for Tropical Freshwater Research, James Cooke University, Townsville, Australia, 140 pp.

14- Feddes R.A, Kabat P., Bakel P.J.T., Bronswijk J.J.B. and Halbertsma J. 1988. Modeling soil water dynamics in the unsaturated zone: state of the art. J. Hydrol. 100: 69–111.

15- Kelleners, T.J. 1994. Use of SWATRE to simulate water and salt balance of an irrigated field in the Indus Plain of Pakistan. IWASRI Report 140, Lahore, Pakistan. 42 pp.

16- Kroes J.G. and Van Dam J.C. 2008. Reference manual SWAP version 3.2., Alterra Green World Research, Wagenningen, Report 1649, Availabel at: http://www.swap.alterra.nl/

17- Mualem Y. 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resource Research, 12, 513–521.

18- Ritzema, H.P., (chapter 8, ed.) 1994. Drainage Principles and Applications. ILRI Publication No. 16, Wageningen, The Netherlands.

19- Sarwar A. 1993. Application of SWATRE to predict soil water flow in a lysimeter. IWASRI Publication No. 141. International Waterlogging and Salinity Research Institute, Lahore, Pakistan. 53 pp.

20- Sarvar A., Bastiaanssen W. G. M., Boers Th. M. and Van Dam J.C. 2000a. Evaluating drainage design parameters for the fourth drainage project, Pakistan by using SWAP model: Part I–calibration. Irrigation and Drainage Systems, 14: 257–280.

21- Sarvar A., Bastiaanssen W. G. M., Boers Th. M. and Van Dam J.C. 2000b. Evaluating drainage design parameters for the fourth drainage project, Pakistan by using SWAP model: Part II–modeling results. Irrigation and Drainage Systems, 14: 281–299.

22- Skaggs R.W. 1978. A water management model for shallow water table soils. Technical Report No. 134 of the Water Resources Research Institute of the University of North Carolina. North Carolina State University.

23- Smets S.M.P., Kuper M., Van Dam J.C. and Feddes R.A. 1997. Salinization and crop transpiration of irrigated fields in Pakistan's Punjab. Agri. Water Manag. 35: 43–60.

24- Van Dam J.C. and Feddes R.A. 1996. Modeling of water flow and solute transport for irrigation and drainage. In: L.S. Pereira et al. (Eds.), Sustainability of Irrigated Agriculture. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, pp. 211–231.

25- Van Dam J.C., Huygen J., Wesseling J.G., Feddes R.A., Kabat P. and Van Walsum P.E.V. 1997. Simulation of transport processes in the Soil-Water-Air-Plant environment. SWAP User's Manual. DLO-Winand Staring Centre, Wageningen, the Netherlands.

26- Van Genuchten M.Th.1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Soc. Am. J., 44: 892–898.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.5, Nov.-Dec. 2012, p. 1257-1267

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۱، ص. ۱۲۶۷-۱۲۵۷

Evaluation of Subsurface Drainage Performance by Using SWAP Model (Case Study Behshahr Ran Drainage System)

V. R. Verdinejad [1*]- H. Ebrahimiam [2] - H. Ahmadi [3]

Received: 07-02-2012
Accepted: 24-06-2012

Abstract

A transient drainage simulation model, SWAP, was used to evaluate the performance of subsurface drainage system. SWAP model was calibrated by measured daily data including water table depth, drain discharge rate and soil and water drain salinity collected from Behshahr Ran drainage system for 120 days during 1385. Calibration of SWAP model was done by inverse modeling via linking with WinPEST model. In order to calibrate drainage quantity parameters, two objective functions were defined to minimize difference between measured and simulated values of the water table depth and drain discharge rate, simultaneously. To calibrate drainage quality parameters, another objective function was also defined to minimize difference between measured and simulated values of soil salinity. There were good agreements between measured and simulated values of drain discharge rate and water table depth. The absolute error of estimation was 7 and 4 % for water table depth and drain discharge rate, respectively. Measured cumulative drainage was 7.5 % (5.3 mm) greater than its simulated value. The SWAP model could also simulate soil and drainage water salinity with a reasonable accuracy. The results of this study indicated that the performance of the SWAP model could be considerably improved using inverse modeling.

Keywords: Water Table, Salinity, Inverse Modeling, Calibration

Archive of SID

1, 3- Assistant Professors, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University
(*-Corresponding Author Email: verdinejad@gmail.com)
2- Assistant Professor, Department of Irrigation & Reclamation Eng., University of Tehran

www.SID.ir