

برآورد هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از نرم افزار DRAINMOD و مقایسه آن با سایر روش های متداول (مطالعه موردی: استان خوزستان، اراضی دشت شاوور)

منا گلایی^{۱*}، محمد الباجی^۲ و عبدعلی ناصری^۳

^{۱*} - نویسنده مسئول، استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، mona_golabi@yahoo.com

^۲ - استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

^۳ - استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۲۶

چکیده

به منظور طراحی شبکه های آبیاری و زهکشی لازم است که ضریب هدایت هیدرولیکی خاک مشخص گردد. روش های متعددی برای اندازه گیری هدایت هیدرولیکی وجود دارد که بسته به شرایط اراضی مورد استفاده قرار می گیرد. اغلب روش های موجود وقت گیر و هزینه بر بوده، لذا استفاده از روش های شبیه سازی توصیه می شود. با توجه به اهمیت موضوع در تحقیق حاضر با استفاده از داده های دشت شاوور، شدت تخلیه و عمق سطح ایستابی با استفاده از مدل DRAINMOD شبیه سازی گردید. سپس از مقادیر شبیه سازی شده شدت تخلیه و عمق سطح ایستابی برای تخمین معکوس هدایت هیدرولیکی استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار هدایت هیدرولیکی را با لحاظ چهار شاخص آماری مورد مطالعه، مقادیر ۲ و ۲/۵ متر بر روز می توان در نظر گرفت. مقایسه مقادیر در نظر گرفته شده با مقدار متوسط هدایت هیدرولیکی اندازه گیری شده به روش ارنست در منطقه مورد مطالعه (۲/۳ متر در روز) نشان دهنده توانایی مناسب مدل DRAINMOD در تخمین مقدار هدایت هیدرولیکی می باشد.

کلید واژه ها: مدل DRAINMOD، هدایت هیدرولیکی، عمق سطح ایستابی، شدت تخلیه، روش ارنست.

Estimation of Soil Hydraulic Conductivity using DRAINMOD Model and Comparison with the other Conventional Method (Case Study; Khuzestan Province, Shavoor Plain)

M. Golabi^{1*}, M. Albaji² and A. Naseri³

1* - Assistant Professors, Irrigation and Drainage Department., Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

2- Assistant Professors, Irrigation and Drainage Department., Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

3- Professors, Irrigation and Drainage Department., Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

Received: 17 March 2014

Accepted: 17 September 2014

Abstract

In order to design irrigation and drainage networks, it is necessary to determine soil hydraulic conductivity. There are several methods for measurement hydraulic conductivity, which the types of methods are depending on the situation of land. Existing methods are often time-consuming and expensive, so it is recommended the use of simulation models. According to the importance of the determination hydraulic conductivity, in this study using data of Shavoor plain water table depth and discharge were simulated with DRAINMOD model. Then, by simulated values of the discharge and water table depth was estimated the amount of hydraulic conductivity with inverse method. Finally, the results were compared with Ernest method. Results showed that according to the statistical indexes hydraulic conductivity is 2 and 2.5 (m/day) for study area. Comparison between these amount and average of hydraulic conductivity, that were measured with Ernest

method (2.3 m/day) represented acceptable estimate of hydraulic conductivity with DRAINMOD model.

Keywords: DRAINMOD model, Hydraulic conductivity, Water table depth, Discharge, Ernest method.

زهکش‌های زیرزمینی آیوا و ابا^۷ و همکاران (۲۰۰۲) ارزیابی برای شبیه‌سازی سطح ایستابی تحت شرایط نیمه خشک مورد استفاده قرار گرفته و نتایج خوبی را نیز ارائه داده است. اوزتکین^۸ (۲۰۰۲) معادله‌های مختلف تعیین هدایت هیدرولیکی را در مدل DRAINMOD با استفاده از دبی زهکش‌ها و عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده بررسی و ارزیابی نمود و معادله ون شلیفگارد را برای این کار با فرض صحت نتایج مدل توصیه نمود.

اکبری و همکاران (۱۳۹۱) از مدل مذکور برای تخمین میزان هدایت هیدرولیکی در منطقه بهشهر استفاده نمودند. این در حالی است که روش مینا مقایسه روش زه آب خروجی بود. نتایج بیانگر توانایی مناسب مدل در تخمین هدایت هیدرولیکی در منطقه مذکور می‌باشد.

با توجه به اهمیت ضریب هدایت هیدرولیکی خاک، اجرا و توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی در استان خوزستان، وقت‌گیر و هزینه‌بر بودن روش‌های صحرایی رایج تعیین هدایت هیدرولیکی خاک، در تحقیق حاضر مقدار هدایت هیدرولیکی خاک در شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی استان خوزستان با استفاده از نرم افزار DRAINMOD تخمین و مقادیر شبیه‌سازی شده با روش‌های صحرایی متداول در مطالعات استان مقایسه شده اند.

مواد و روش‌ها

الف) تشریح مدل DRAINMOD

این مدل از بیلان آب در ستون عمودی خاک بین زهکش‌های موازی استفاده می‌کند. مدل DRAINMOD به ویژه برای خاک‌های با سطح ایستابی کم عمق به کار گرفته شده است. مدل DRAINMOD برای شرایط مرطوب توسعه داده شده و نتایج آن برای این شرایط قابل اعتماد می‌باشد، ولی برای شرایط خشک و نیمه خشک نیز با موفقیت آزمایش شده است. با این حال عدم تطابق مقادیر زهکشی شبیه‌سازی شده توسط مدل با مشاهدات واقعی در این مناطق مشاهده می‌شود. DRAINMOD یکی از مدل‌هایی است که به منظور شبیه‌سازی مدیریت آب در سطح وسیعی به کار گرفته شده است. مدل می‌تواند رژیم جریان آب در خاک را در زهکش‌های سطحی و زیرزمینی شبیه‌سازی کرده و رواناب سطحی، نفوذ، تبخیر و تعرق، زهکشی زیرزمینی و نشست (عمودی و جانبی) را در مناطق زهکشی زیرزمینی برآورد نماید. مدل DRAINMOD در سال‌های خشک، به دلیل کمتر برآورد نمودن میزان تبخیر و تعرق، مقادیر رواناب سطحی، حجم آب زهکشی را بیش از آن چه که باید، برآورد می‌نماید (لیاقت و کاویانی، ۱۳۸۴).

مقدمه

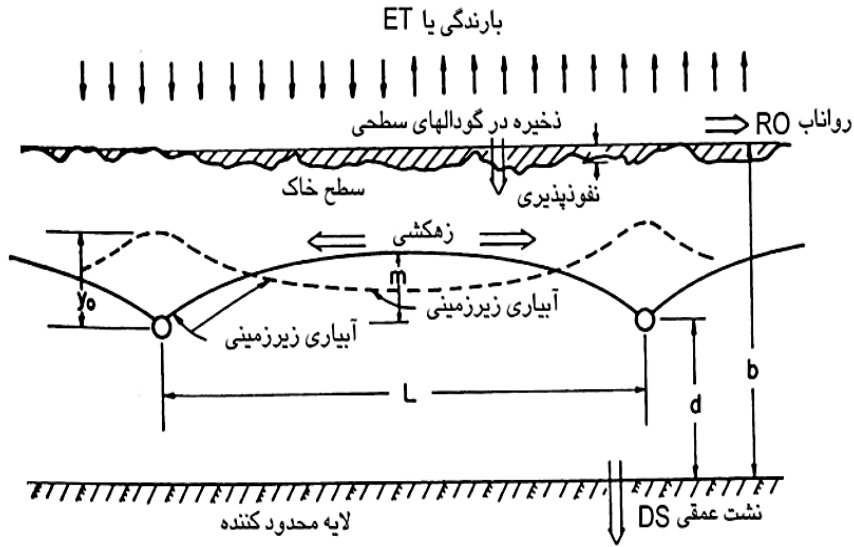
هدایت هیدرولیکی یکی از خصوصیات هیدروپدینامیکی کلیدی در مدل‌سازی حرکت آب در خاک، کنترل رواناب‌های سطحی، آب‌شویی مزارع کشاورزی و انتقال آلودگی‌های سطحی به آب‌های زیرزمینی می‌باشد. عوامل متعددی بر خصوصیت فوق تأثیر فزاینده یا کاهنده دارند که می‌توان به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، پایداری خاکدانه‌ها، اقلیم، عملیات کشاورزی، کیفیت آب، کاربری اراضی، دینامیک ریشه و فعالیت موجودات زنده خاک اشاره نمود (فیوانتر^۱ و همکاران، ۲۰۰۴).

در پروژه‌های آبیاری و زهکشی تعیین هدایت هیدرولیکی اشیاع و غیراشباع خاک ضروری است. روش‌های تعیین هدایت هیدرولیکی با دو روش کلی آزمایشگاهی و صحرایی قابل انجام می‌باشد. روش‌های معمول آزمایشگاهی به دلیل جا به جا شدن نمونه‌ها از حالت طبیعی و اندازه‌ی کوچک نمونه‌های برداشتی در مقایسه با روش‌های صحرایی کارایی نداشته و تنها در موارد استثنایی به کار برده می‌شوند. لذا در طرح‌های اجرایی، اغلب از روش‌های صحرایی استفاده می‌گردد (الریک و رینولدز^۲، ۱۹۹۲a,b). به دلیل پیچیدگی و اهمیت روابط آب، خاک و گیاه مدل‌های شبیه‌ساز در زمینه مهندسی علوم آب بسط و توسعه یافته‌اند. مجموعه‌ای از مدل‌ها برای پیش‌بینی تأثیر طولانی مدت آب زیرزمینی، حرکت آب و اصلاح در خاک، شاخص شوری منطقه ریشه، شوری زدایی پروفیل خاک با زهکشی، کیفیت آب زیرزمینی و زهکشی، انتقال موثر اصلاح، نیاز آبی محصول و مدل‌های واکنش محصول ایجاد شده‌اند. با توجه به جایگاه خاص هدایت هیدرولیکی در مطالعات آب و خاک و وقت‌گیر و هزینه‌بر بودن روش‌های صحرایی استفاده از مدل‌های کامپیوتری در این راستا توصیه می‌شود.

یکی از این مدل‌ها، مدل DRAINMOD است که توسط اسکگر^۳ (۱۹۷۸) ارائه شده است. این مدل از بیلان آب در ستون عمودی خاک بین زهکش‌های موازی استفاده می‌کند. بسیاری از متخصصان در نقاط مختلف دنیا از این مدل استفاده نموده‌اند. مدل DRAINMOD توسط ونگ^۴ و همکاران (۲۰۰۶) به منظور پیش‌بینی جریان زهکش‌های زیرزمینی و میزان محصول تولیدی برای فاصله‌های مختلف زهکش، سینگ^۵ و همکاران (۲۰۰۶) برای واسنجی و صحت سنجی طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی آیوا^۶، سینگ و همکاران (۲۰۰۷) پیش‌بینی تأثیر مدیریت آب زهکشی در

- 1- Fuentes
- 2- Elrick and Reynolds
- 3- Skaggs
- 4- Wang
- 5- Singh
- 6- Iowa

7- Wahba
8- Oztekin



شکل ۱- شماتیک فرآیندهای مدیریت آب در مدل DRAINMOD (پذیرا، ۱۳۸۱)

$$K(S_e) = K_S S_e^L \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (۳)$$

$$(۴)$$

$$m = 1 - \frac{1}{n}, n > 1$$

$$(۵)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

ب) فرضیه‌ها و معادله‌های حاکم بر مدل

شکل (۱) به صورت شماتیک، سیستم مدیریت آبی که در DRAINMOD در نظر می‌گیرد را نشان می‌دهد. در این سیستم فرض می‌شود سطح خاک نسبتاً صاف و لایه غیر قابل نفوذ نزدیک سطح زمین و زهکش‌ها به فاصله L از یکدیگر و به فاصله D از لایه غیر قابل نفوذ قرار دارند.

یه و اساس این مدل بیان آب در پروفیل خاک می‌باشد. بیان آب برای هر گام زمانی Δt را می‌توان به صورت معادله زیر بیان داشت:

$$(۱)$$

$$\Delta V_a = D + ET + DS - F$$

که در آن ΔV_a : بیانگر تغییرات آب آزاد در خلل و فرج یا حجم هوا (سانتی‌متر)، D: مقدار زهکشی از مقطع (و یا در آبیاری زیرزمینی به درون مقطع) (سانتی‌متر)، ET: تبخیر و تعرق (سانتی متر)، DS: نشت عمقی (سانتی‌متر) و F: نفوذ تجمعی (سانتی‌متر) که به مقطع مورد نظر وارد می‌شود (پذیرا، ۱۳۸۱).

برای شبیه‌سازی منحنی مشخصه خاک، مدل DRAINMOD از مدل وان گنوختن-معلم (۱۹۸۰) استفاده می‌کند، این مدل به صورت زیر است (حسن پور و همکاران، ۱۳۸۹):

$$(۲)$$

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (ah)^n \right]^m}$$

در این روابط، $\theta(h)$: مقدار آب خاک تحت مکش h، θ_r : مقدار آب خاک در شرایط پژمردگی دائم، θ_s (cm³/cm³) مقدار آب خاک در شرایط اشباع نسبی، S_e : اشباع نسبی، K_s : هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/day)، L: پارامتر مربوط به پیوستگی خلل و فرج، h: مکش (cm)، $K(S_e)$: هدایت هیدرولیکی (cm/day) و m ، n و α : پارامترهای شکل هستند. برای شبیه‌سازی نفوذ، مدل DRAINMOD از معادله گرین آمپت استفاده می‌کند. این معادله به صورت زیر است:

$$(۶)$$

$$f = \frac{A}{F} + B$$

که در آن f: سرعت نفوذ (cm/hr)، F: نفوذ تجمعی (cm) و $B\alpha$: پارامترهایی هستند که به خصوصیات و رطوبت اولیه خاک و شرایط سطح زمین مانند نوع پوشش بستگی دارند. A و B با استفاده از معادله‌های زیر به دست می‌آیند (اسکگرز، ۱۹۹۸):

گلابی و همکاران: برآورد هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از...

δ : عمق آب استغراقی روی سطح خاک (m)، b : عمق نصب زهکش (m)، L : فاصله زهکش‌ها از یکدیگر (m)، d : ضخامت لایه خاک از محل نصب زهکش‌ها تا لایه غیرقابل نفوذ (m) می‌باشد. استفاده از معادله‌های بالا با این فرض صورت می‌گیرد که حرکت آب به طرف زهکش‌ها به واسطه خصوصیات خاک محدود می‌باشد و ظرفیت هیدرولیکی لوله‌های زهکش عامل محدود کننده نیست.

مدل DRAINMOD به منظور شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی، چهار مدیریت متفاوت را اعمال می‌کند. این مدیریت‌ها عبارتند از: زهکش‌های معمولی، زهکش‌های کنترل شده، آبیاری زیرزمینی و ترکیبی از سه مورد (کندیل^۱، ۱۹۹۲).

ج) داده‌های ورودی مورد نیاز مدل

اطلاعات ورودی این مدل شامل داده‌های هواشناسی، پارامترهای سیستم زهکشی، اطلاعات گیاه، خاک و اطلاعات مربوط به زمان و مقدار آبیاری است. اطلاعات هواشناسی که برای مدل DRAINMOD مورد نیاز است باران ساعتی، عرض جغرافیایی، فاکتورهای تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه، دماهای حداقل و حداکثر روزانه و تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشند (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۸۹).

اطلاعات خاک مورد نیاز برای اجرای مدل، داده‌های منحنی مشخصه و هدایت هیدرولیکی اشباع (برای هر لایه خاک)، ارتباط بین حجم زهکشی با عمق سطح ایستابی و اطلاعات مربوط به فلاکس جریان رو به بالا از سطح آب (جریان موینه‌ای) می‌باشد.

پارامترهای سیستم زهکشی مورد نیاز، عمق نصب زهکش، فاصله زهکش‌ها از یکدیگر، فاصله زهکش تا لایه غیرقابل نفوذ، نوع مدیریت زهکش‌ها، شعاع لوله زهکش، شیب کارگذاری زهکش، حداکثر نگهداشت سطحی، عمق سطح ایستابی اولیه و عمق معادل می‌باشد. مقدار نگهداشت سطحی بسته به نوع عملیات شخم و تهیه‌ی زمین از ۰/۱ تا بیش از سه سانتی‌متر متغیر می‌باشد.

اطلاعات گیاهی مورد نیاز، عمق موثر ریشه، حداکثر تأخیر مجاز در کاشت و آخرین زمان تأخیر در کاشت، پارامترهای مربوط به تنش ماندابی و پارامترهای تنش خشکی است (همکاران، ۱۳۹۱).

د) معرفی منطقه مورد مطالعه

در مقاله‌هایی که به روش معکوس، هدایت هیدرولیکی را تخمین زده‌اند از داده‌های مزارع آزمایشی استفاده نموده‌اند، در تحقیق حاضر بر خلاف مقاله‌های مذکور از داده‌های مرحله مطالعات (مرحله طراحی سیستم زهکشی زیر زمینی) استفاده شده است.

$$A = K_S M \cdot S_{av} \quad (7)$$

$$B = K_S \quad (8)$$

در این روابط، K_S : هدایت هیدرولیکی اشباع بر حسب (cm/hr)، M : تخلخل قابل پرشدن خاک (رطوبت اشباع-رطوبت در سطح ایستابی دلخواه) و S_{av} : مکش در جبهه رطوبتی بر حسب (cm) است. مدل برای شبیه‌سازی وضعیت زهکشی دو حالت را مدنظر قرار می‌دهد:

الف) هرگاه سطح خاک به وسیله آب پوشیده نشده باشد: این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که سطح ایستابی پایین تر از سطح خاک واقع شده باشد. در چنین حالتی شدت تخلیه زهکش زیرزمینی با استفاده از معادله هوخهات محاسبه می‌شود:

$$q = Ah^2 + Bh \quad (9)$$

$$A = \frac{4K}{L^2} \quad (10)$$

$$B = \frac{8Kd}{L^2} \quad (11)$$

$$D < \frac{1}{4} L \quad d = \frac{D}{\left(\frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{U}\right) + 1} \quad (12)$$

$$D > \frac{1}{4} L \quad d = \frac{\pi L}{8 \ln \frac{L}{U}} \quad (13)$$

که در آن‌ها: q : ضریب زهکشی (m/day)، h : بار سطح ایستابی در نقطه وسط بین دو زهکش (m)، K : هدایت هیدرولیکی (m/day)، d : عمق معادل (m)، U : محیط تر شده لوله زهکش (m) و D : فاصله لوله‌های زهکش تا لایه غیرقابل نفوذ (m) می‌باشد.

ب) هرگاه سطح ایستابی دقیقاً روی سطح خاک و یا بالاتر از آن قرار گرفته و حالت غرقابی برقرار باشد، در این حالت شدت تخلیه (m/day) از معادله کرکهام محاسبه می‌گردد:

$$q = \frac{4\pi K_e (\delta + b - r_e)}{Gl} \quad (14)$$

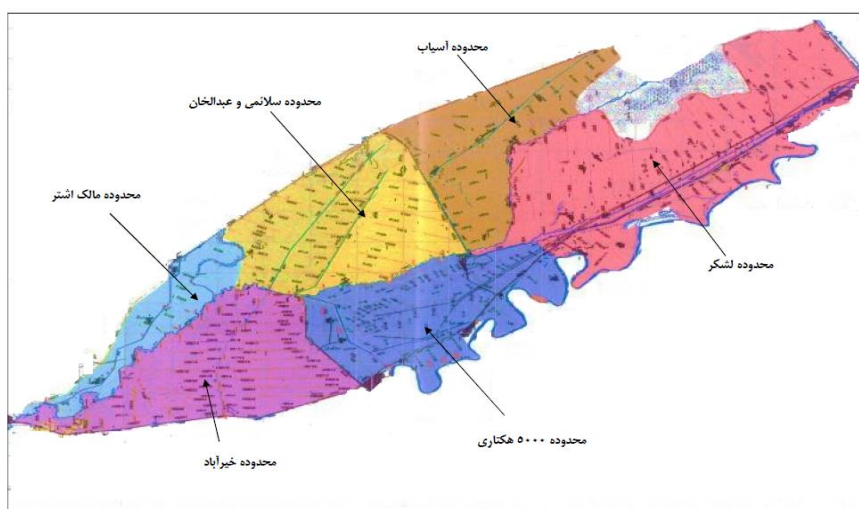
حدود ۸۳۴۴ هکتار را دارا می‌باشد، استفاده شده است. شکل (۲) نقشه مناطق عمرانی اراضی دشت شاور را نشان می‌دهد. مطابق اطلاعات به دست آمده از پروفیل‌ها در اکثر چاهک‌های منطقه بافت خاک بین متوسط (سیلتی) تا بسیار سنگین (رسی) متغیر می‌باشد. بررسی‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه در ارتباط با موقعیت لایه محدود کننده و نفوذپذیر که در ارتباط با مسائل زهکشی زیرزمینی دارای اهمیت می‌باشد، غالباً نشان دهنده قرار گیری این لایه در قسمت‌های انتهایی چاهک‌های مشاهداتی است.

همان‌طور که ذکر شد به منظور بررسی قابلیت روش تخمین معکوس هدایت هیدرولیکی با استفاده از مدل DRAINMOD به جای استفاده از داده‌های مزارع آزمایشی یا طرح‌های اجرا شده از داده‌های مرحله مطالعات استفاده شده است. داده‌های هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی اهواز اخذ شد. اطلاعات مورد نیاز مربوط به خاک، گیاه، زمان و مقدار آبیاری و پارامترهای زهکشی از گزارش مرحله مطالعات اراضی دشت شاور استخراج گردید. از داده‌های اندازه گیری شده‌ی چاهک‌های مشاهداتی منطقه به عنوان عمق سطح ایستابی مدل استفاده شد. مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل در کل محدوده مطالعاتی مطابق جدول (۲) به دست آمده است.

اراضی طرح شاور به وسعت حدود ۵۶۰۰۰ هکتار جز دشت‌های رسوبی قدیمی رودخانه‌های دز و کرخه می‌باشد که در نواری به طول ۵۵ کیلومتر و عرض ۸ تا ۱۶ کیلومتر، از شمال به اراضی طرح نیشکر میان آب و بخش شاور (روستای مسلم بن عقیل در محل پل شاور)، از جنوب به کانال توانا، از شرق به خط آهن اهواز- اندیمشک و از غرب در قسمت شمالی مسیر جاده اهواز- اندیمشک محدود شده است. مختصات جغرافیایی منطقه بین ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. برای محاسبه پارامترهای دما از آمار دمای ایستگاه‌های سینوپتیک اهواز و صفی آباد دزفول و کلیماتولوژی هفت تپه و حمیدیه استفاده گردید. خلاصه نتایج به دست آمده در جدول (۱) ارائه شده است. براساس گزارش مرحله مطالعات اراضی طرح شاور خاک‌های منطقه مورد مطالعه در سه واحد فیزیوگرافی قرار دارند، که عبارتند از: فلات‌ها، دشت‌های آبرفتی رودخانه‌ای و اراضی پست. این منطقه به هفت ناحیه عمرانی مالک اشتر، عبدالخان، خیرآباد، سلائی، آسیاب، لشکر و شبکه ۵۰۰۰ هکتاری تقسیم شده است. مناطق شبکه ۵۰۰۰ هکتاری و مالک اشتر در قالب منطقه الف، مناطق عبدالخان، سلائی و خیرآباد تحت عنوان منطقه ب و آسیاب و لشکر در قالب منطقه ج نام گذاری شده‌اند. در مقاله حاضر از اطلاعات منطقه الف که مساحتی در

جدول ۱- آمار پارامترهای دما در ایستگاه‌های تحت پوشش منطقه شاور (بی نام، ۱۳۹۲)

نام ایستگاه	حداکثر دمای مطلق (درجه سانتی گراد)	حداقل دمای مطلق (درجه سانتی گراد)	میانگین سالانه دما (درجه سانتی گراد)
اهواز	۴۹/۵ تیر ماه	۲/۴ دی ماه	۲۵/۳
صفی آباد	۴۹ تیر ماه	۱/۵ دی ماه	۲۳/۹
هفت تپه	۴۸/۹ تیر ماه	۰/۴ دی ماه	۲۳/۳
حمیدیه	۴۹/۲ مرداد ماه	۱/۶ بهمن ماه	۲۴/۴



شکل ۲- منطقه عمرانی دشت شاور

گلابی و همکاران: برآورد هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از...

جدول ۲- مقادیر تبخیر و تفرق پتانسیل در کل محدوده مطالعاتی (بی نام، ۱۳۹۲)

شهریور	مرداد	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مهر	تبخیر و تفرق پتانسیل (میلی متر در ماه)
۱۷۱/۹۰	۲۲۸/۷۸	۱۱۶/۲۵	۶۵/۷۰	۴۲/۷۸	۴۴/۳۳	۶۱/۰۴	۱۰۲/۹۲	۱۵۰/۳۰	۲۱۵/۴۵	۲۵۵/۶۰	۲۵۵/۷۵	۲۲۸/۷۸	۱۷۱/۹۰

جدول ۳- متوسط بارش اراضی منطقه شاوور طی سال های ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۰ (بی نام، ۱۳۹۲)

شهریور	مرداد	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مهر	متوسط بارش (میلی متر در ماه)
۰/۰	۰/۰	۳/۲	۲۳/۹	۵۴/۰	۵۳/۷	۴۴/۷	۳۶/۱	۲۶/۷	۹/۸	۰/۴	۰/۰	۰/۰	۳/۲

جدول ۴- طبقه بندی ضرایب هدایت هیدرولیکی اراضی مناطق عمرانی ۵۰۰۰ هکتاری و مالک اشتر (بی نام، ۱۳۹۲)

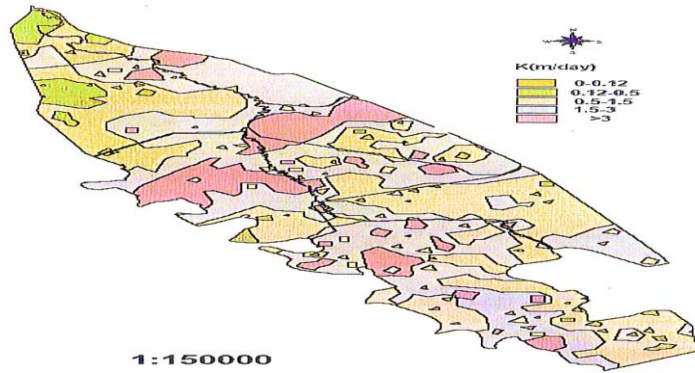
ناحیه عمرانی	هدایت هیدرولیکی (متر در روز)	نام توصیفی	درصد نسبت به کل
۵۰۰۰ هکتاری	۰-۰/۱۲	آهسته	۰/۰۳
	۰/۱۲-۰/۵	متوسط	۲/۱۲
	۰/۵-۱/۵	نسبتا سریع	۲۵/۲۴
	۱/۵-۳	سریع	۴۴/۱۵
	>۳	خیلی سریع	۲۸/۴۶
مالک اشتر	۰-۰/۱۲	آهسته	-
	۰/۱۲-۰/۵	متوسط	۱/۶
	۰/۵-۱/۵	نسبتا سریع	۴۰/۰
	۱/۵-۳	سریع	۴۸/۹
	>۳	خیلی سریع	۹/۶

هم چنین نقشه پهنه بندی هدایت هیدرولیکی اراضی دشت شاوور در شکل (۳) آمده است.

مبانی طراحی برای عمق کارگذاری لوله های زهکش در ۱/۵ متری، لوله پلاستیکی موجدار به قطر ۱۰۰ میلی متر و برای گیاه شبدر به عنوان گیاه پرمصرف الگوی کشت منطقه ای مورد مطالعه (شبکه ۵۰۰۰ هکتاری و مالک اشتر) در جدول (۵) ارائه شده است. هم چنین ضریب زهکشی برای گیاه شبدر ۱/۴۶ میلی متر در روز برآورد گردید. در منطقه مورد مطالعه عمق لایه غیرقابل نفوذ بین ۲/۵ تا ۵/۵ متر متغیر می باشد.

برای بررسی داده های بارندگی منطقه مورد مطالعه با توجه به قدمت آمار و اطلاعات کامل ایستگاه اهواز از داده های این ایستگاه استفاده شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که میانگین بارندگی سالانه حوضه شاوور ۲۵۲/۷ میلی متر است.

در منطقه مورد مطالعه هدایت هیدرولیکی به سه روش ارنست، پمپاژ به داخل چاهک کم عمق و پرماترگلف اندازه گیری شده که در این مقاله از نتایج روش ارنست به عنوان روش مبنا استفاده گردیده است. طبقه بندی ضرایب هدایت هیدرولیکی مناطق عمرانی ۵۰۰۰ هکتاری و مالک اشتر که به عنوان ورودی مدل و برای مقایسه با نتایج مدل نیز استفاده شده، در جدول (۴) ارائه شد.



شکل ۳- نقشه بهنه بندی هدایت هیدرولیکی اراضی دشت شاور

جدول ۵- مبانی طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه به تفکیک نواحی عمرانی (بی نام، ۱۳۹۲)

شرایط جریان	نواحی زهکشی	فاصله زهکش ها (m)	سطح زهکشی (m ²)	دبی (m ³ /s)	قطر لوله با لحاظ رسوب گذاری (mm)
غیر همگام	Z ₁	۲۵	۱۵۰۰۰	۰/۰۰۱	۱۰۰
	Z ₆	۸۰	۴۲۰۰۰	۰/۰۰۲۹	۱۲۵
همگام	Z ₁	۲۵	۱۵۰۰۰	۰/۰۰۱	۱۰۰
	Z ₆	۸۰	۴۲۰۰۰	۰/۰۰۲۹	۱۵۰

در فرمول‌های ارائه شده P_i: مقادیر پیش بینی شده، O_i: مقادیر اندازه گیری شده، n: تعداد نمونه‌ها و \bar{O} : مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده می‌باشد. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی SE، AD و CRM برابر صفر و مقدار R² برابر یک خواهد شد (همایی و همکاران، ۲۰۰۲ و لیگو و گرین، ۱۹۹۹).

به منظور ارزیابی آماری ابتدا مقادیر مختلفی از هدایت هیدرولیکی به مدل داده شده و نتایج استخراج شدند. سپس عمق سطح ایستابی و شدت تخلیه شبیه سازی با مقادیر اندازه گیری شده مقایسه گردید. مقداری از هدایت هیدرولیکی که در آن شاخص‌های آماری مناسب‌تری به‌دست آمد را انتخاب نموده و با مقدار روش ارزست مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

مطابق اعداد جدول چهار مقادیر هدایت هیدرولیکی در دامنه‌ای بین ۰/۵ تا ۷ متر بر روز به مدل داده شده و به ازای مقادیر مختلف آن مدل اجرا شد و مقادیر عمق سطح ایستابی (نمودار ۱) و شدت تخلیه (نمودار ۲) شبیه‌سازی شده به‌دست آمد. با استفاده از مقادیر پیش‌بینی و اندازه گیری شده و آماره‌هایی که اشاره گردید نتایج مورد مقایسه قرار گرفتند. این نتایج در جدول‌های (۶) و (۷) ارائه شده است.

برای سنجش اعتبار و درستی نتایج شبیه‌سازی مدل از آماره‌های ضریب تعیین (R²)^۱، میانگین انحراف مطلق (AD)^۲، خطای استاندارد (SE)^۳ و ضریب باقی مانده (CRM)^۴ استفاده شد. فرمول‌های این آماره‌ها به صورت زیر می‌باشند:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \times \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (16)$$

$$AD = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad (17)$$

$$SE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (18)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (19)$$

- 1- Coefficient of Determination
- 2- Mean Absolute Deviation
- 3- Standard Error
- 4- Coefficient of Residual Mass

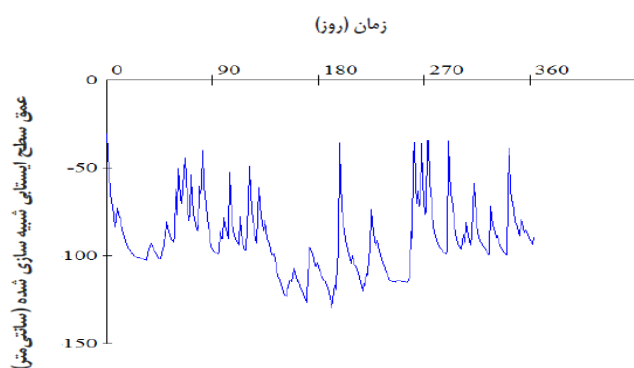
گلابی و همکاران: برآورد هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از...

جدول ۶- شاخص‌های آماری برای ارزیابی مدل در تخمین سطح ایستابی به ازای مقادیر مختلف

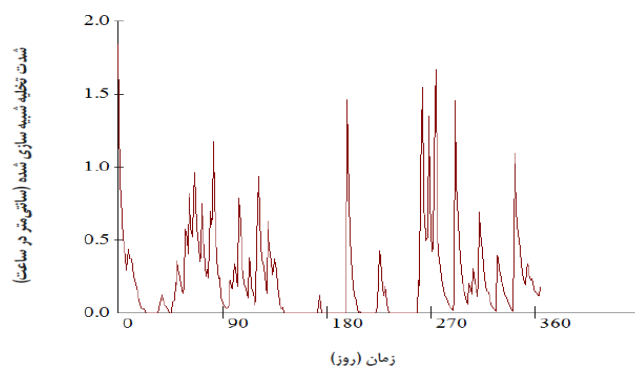
هدایت هیدرولیکی												
۷/۰	۶/۵	۵/۰	۴/۵	۴/۰	۳/۵	۳/۰	۲/۵	۲/۰	۱/۵	۱/۰	۰/۵	هدایت هیدرولیکی (m/day)
-۰/۹۱	-۰/۸۸	-۰/۸۷	-۰/۸۵	-۰/۸۵	-۰/۸۳	-۰/۸۱	-۰/۸۰	-۰/۷۹	-۰/۵۳	-۰/۴۵	-۰/۳۰	R ²
-۰/۴۱	-۰/۳۹	-۰/۳۸	-۰/۳۵	-۰/۳۵	-۰/۳۰	-۰/۲۷	-۰/۲۱	-۰/۰۸	-۰/۱۲	-۰/۱۴	-۰/۱۷	AD
-۰/۷۸	-۰/۷۵	-۰/۶۴	-۰/۶۳	-۰/۵۶	-۰/۵۵	-۰/۳۷	-۰/۲۶	-۰/۰۷	-۰/۲۷	-۰/۲۷	-۰/۳۲	SE
-۲/۵۰	-۲/۳۰	-۱/۸۰	-۱/۲۰	-۰/۴۵	-۰/۱۹	-۰/۱۳	-۰/۰۸	-۰/۰۳	-۰/۰۲	-۰/۰۷	-۰/۱۰	CRM

جدول ۷- شاخص‌های آماری برای ارزیابی مدل در تخمین شدت تخلیه به ازای مقادیر مختلف هدایت

هدایت هیدرولیکی												
۷/۰	۶/۵	۵/۰	۴/۵	۴/۰	۳/۵	۳/۰	۲/۵	۲/۰	۱/۵	۱/۰	۰/۵	هدایت هیدرولیکی (m/day)
-۰/۹۵	-۰/۹۵	-۰/۹۲	-۰/۹۲	-۰/۸۹	-۰/۸۹	-۰/۸۵	-۰/۸۲	-۰/۸۲	-۰/۵۴	-۰/۴۷	-۰/۴۰	R ²
-۰/۳۵	-۰/۳۳	-۰/۳۳	-۰/۲۳	-۰/۲۳	-۰/۱۷	-۰/۱۳	-۰/۰۸	-۰/۰۵	-۰/۱۰	-۰/۱۲	-۰/۱۴	AD
-۰/۷۸	-۰/۷۵	-۰/۶۴	-۰/۶۳	-۰/۵۶	-۰/۵۵	-۰/۳۷	-۰/۲۶	-۰/۰۴	-۰/۲۷	-۰/۲۷	-۰/۳۲	SE
-۱/۳۴	-۱/۳۳	-۱/۳۳	-۱/۱۲	-۰/۴۰	-۰/۱۸	-۰/۰۷	-۰/۰۵	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۴	-۰/۰۹	CRM



نمودار ۱- عمق سطح ایستابی شبیه سازی شده



نمودار ۲- شدت تخلیه شبیه سازی شده

متر در روز) نشان دهنده توانایی مناسب مدل DRAINMOD در تخمین مقدار هدایت هیدرولیکی می‌باشد. مقاله حاضر نتایج تحقیقات اکبری و همکاران (۱۳۹۱) و اوزتکین (۲۰۰۲) را به لحاظ قابلیت مدل DRAINMOD را در برآورد معکوس هدایت هیدرولیکی تایید می‌نماید، اما در خصوص توانایی مدل برای تخمین معکوس مقدار هدایت هیدرولیکی با استفاده از عمق سطح ایستابی نتایج متفاوتی به دست آمد. این اختلاف را می‌توان به نوع اقلیم، نوع خاک، الگوی کشت و سایر عوامل ارتباط داد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

از آن جایی که اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی ضروری است و عملی وقت‌گیر و هزینه‌بر می‌باشد، لذا استفاده از مدل‌های کامپیوتری توصیه می‌شود. در مقاله حاضر تخمین معکوس هدایت هیدرولیکی با استفاده از مدل DRAINMOD مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر به صورت خلاصه به دست آمد:

- مدل توانایی خوبی در تخمین هدایت هیدرولیکی در منطقه گرم و خشک خوزستان دارا می‌باشد.
- شبیه‌سازی عمق سطح ایستابی و شدت تخلیه در برآورد معکوس هدایت هیدرولیکی نتایج مناسبی را ارائه داد.
- مقایسه‌ی مقادیر انتخابی هدایت هیدرولیکی (۲/۵-۲ متر در روز) و متوسط آن در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده دقت قابل قبول نتایج به دست آمده می‌باشد.

مطابق مقادیر آماره‌های جدول‌های شش و هفت ملاحظه می‌شود که با افزایش مقدار هدایت هیدرولیکی، ضریب تعیین بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عمق سطح ایستابی و شدت تخلیه افزایش می‌یابد که نشان از همبستگی مناسب بین دو مقدار پیش‌بینی شده و مشاهداتی می‌باشد. بر مبنای شاخص آماری ضریب تعیین و نتایج حاصل می‌توان بیان داشت که نرم افزار DRAINMOD شبیه‌سازی مناسبی را از عمق سطح ایستابی و شدت تخلیه در هدایت‌های الکتریکی بیش از دو متر بر روز ارائه می‌دهد. مقدار میانگین انحراف مطلق با افزایش هدایت هیدرولیکی ابتدا تا هدایت هیدرولیکی دو متر بر روز کاهش و پس از آن افزایش یافته است. در خصوص خطای استاندارد عمق سطح ایستابی و شدت تخلیه نتایج مانند میانگین انحراف مطلق به دست آمده است. به بیان دیگر مطابق دو شاخص آماری میانگین انحراف مطلق و خطای استاندارد نرم افزار تا هدایت هیدرولیکی دو متر بر روز شبیه‌سازی مناسبی را انجام داده است. با افزایش هدایت هیدرولیکی مقدار ضریب باقی مانده که در واقع برآورد بیشتر یا کمتر مدل را نشان می‌دهد، منفی‌تر شده است و در هدایت هیدرولیکی ۱/۵ و دو متر بر روز مقادیر مناسبی را نشان می‌دهد. به طور کلی نتایج به دست آمده را می‌توان به روابط و فرضیات حاکم بر نرم افزار DRAINMOD و شرایط مرزی آن ارتباط داد. همچنین به منظور دست‌یابی به نتیجه مطلوب در استفاده از نرم افزار می‌بایست بیش از سه شاخص آماری را برای انتخاب نتایج مناسب استفاده نمود.

نتایج نشان داد که مقدار هدایت هیدرولیکی را با لحاظ چهار شاخص آماری مورد مطالعه مقادیر ۲ و ۲/۵ متر بر روز می‌توان در نظر گرفت. مقایسه مقادیر در نظر گرفته شده با مقدار متوسط هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه (۲/۳)

منابع

- ۱- اکبری، م.، نظری، ب.، پارس‌نژاد، م. و ح. ابراهیمیان. ۱۳۹۱. تخمین معکوس هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از مدل DRAINMOD. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۶ (۴): ۸۵-۹۲.
- ۲- بی‌نام. ۱۳۹۲. مطالعات مرحله اول طرح تامین آب و شبکه آبیاری و زهکشی اراضی دشت شاور. گزارش زهکشی زیرزمینی (اصلاحی)، سازمان آب و برق خوزستان.
- ۳- پذیرا، ا. ۱۳۸۱، نظریه‌ها و مدل‌های زهکشی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۵۰-۱۲۵.
- ۴- حسن پور، س.، پارس‌نژاد، ب.، سلحشور، م.، دلیوند، ف. و ه. کوثری. ۱۳۸۹. برآورد نوسانات سطح ایستابی در اراضی شالیزار با استفاده از مدل DRAINMOD (مطالعه موردی رشت). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲: ۱۷۴-۱۶۷.
- ۵- لیاقت، ع. و ع. کاویانی. ۱۳۸۴. شبیه‌سازی حرکت آب و املاح به طرف زهکش‌ها با استفاده از مدل DRAINMOD. کارگاه آموزشی مدل‌سازی در آبیاری و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۸۳-۱۰۸.

- Physical Properties: Bringing Theory into Practice. SSSA Special Publication No. 30, Madison, WI, pp. 1–24.
- 7- Elrick, D. E. and W. D. Reynolds. 1992b. Methods for analyzing constant head well permeameter data. *Soil Science Society of America Journal*. 56: 320–323.
 - 8- Fuentes, J. P., Flury, M. and D. F. Bezdicsek. 2004. Hydraulic properties in a silt loam soil under natural prairie, conventional tillage and no-till. *Soil Science Society of America Journal*. 68: 1679–1688.
 - 9- Homaei, M., Driksen, C. and R. A. Feddes. 2002. Simulation of root water uptake III. Non-uniform transient combine salinity and water stress. *Journal of Agricultural Water Management*, 57: 127-144.
 - 10-Kandil, M. H. 1992. DRAINMOD-S: A water management model for irrigated arid lands. Ph. D. Dissertation, North Carolina State University, Raleigh.
 - 11-Loague, K. and R. E. Green. 1999. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology*, 7: 51-73.
 - 12-Oztekin, T. 2002. Hydraulic conductivity evaluation for a drainage simulation model (DRAINMOD). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 26: 37-45.
 - 13-Singh, V., Helmers, R., Crumpton, M. J. and Q. Zhiming. 2006. Calibration and validation of DRAINMOD to design subsurface drainage systems for Iowa's tile landscapes. *Agriculture Water Management*. 85: 221-232.
 - 14-Singh, V., Helmers, R., Crumpton, M. J. and D.W. Lemke. 2007, Predicting effects of drainage water management in Iowa's subsurface drained landscapes. *Agriculture Water Management*. 92 (3): 162-170.
 - 15-Skaggs, R.W. 1978. A water management model for shallow water table soils. Technical Report No, 134, Water.
 - 16-Skaggs, R.W. 1998. Dainmod reference report. Methods for design and evaluation of drainage-water management systems for soils with high water tables. Chapter 5, North Carolina State University, 39 p.
 - 17-Wahba, M. A. S., El-Ganainny, M., Abdel-Dayem, M. S., Kandil, H. and A. Gobran. 2002. Evaluation of DRAINMOD-S for simulating water table management under semi-arid conditions. *Irrigation and Drainage*. 51: 213-216.
 - 18-Wang, X., Mosley, C. T., Frankenberger, J. R. and E. J. Klavivko. 2006. Subsurface drain flow and crop yield. Predictions for different drain spacing using DRAINMOD. *Agriculture Water Management*. 79: 113–136.