تخمین معکوس هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از مدل DRAINMOD

محمود اکبری*، بیژن نظری، مسعود پارسی نژاد و حامد ابراهیمیان[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۱۴)

چکیده

این مطالعه در شبکه زه‌کشی زیرزمینی در حال بهره برداری در منطقه بهشهر انجام شد. برای شبیه‌سازی سیستم زه‌کشی با مدل DRAINMOD از داده‌های اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۸۵ استفاده شد. ارزیابی مدل در تخمین هدایت هیدرولیکی با مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده عمق سطح ایستابی و شدت تخلیه زه‌کش‌ها، با مقادیر اندازه‌گیری شده آنها به‌ازای مقادیر مختلف ضریب هدایت هیدرولیکی انجام گردید. نتایج این روش با نتایج روش زه‌آب خروجی (به‌عنوان روش مبنا) مقایسه شد. نتایج نشان داد که استفاده از نتایج شبیه‌سازی عمق سطح ایستابی مدل در تخمین هدایت هیدرولیکی خطای قابل توجهی دارد. در حالی که شبیه‌سازی شدت تخلیه با دقت خوبی می‌تواند در تخمین آن مورد استفاده قرار گیرد. مقدار هدایت هیدرولیکی از روش زه‌آب خروجی (۲/۳ سانتی‌متر در ساعت) با مقدار تخمینی آن با استفاده از مقادیر شبیه‌سازی شده شدت تخلیه (۲/۵ سانتی‌متر در ساعت) اختلاف کمی داشت. بنابراین در تخمین هدایت هیدرولیکی به روش حل معکوس با مدل DRAINMOD ، مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده شدت تخلیه زه‌کش‌ها می‌تواند ملاک خوبی برای تصمیم‌گیری باشد.

واژه‌های کلیدی: سطح ایستابی، شدت تخلیه، هدایت هیدرولیکی خاک، DRAINMOD

۱. گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mahmoodakbari@alumni.ut.ac.ir

مقدمه

به‌دلیل وجود پیچیدگی حرکت آب و انتقال املاح در خاک و هم‌چنین به‌دلیل وقت و هزینه زیادی که آزمایش‌های مزرعه‌ای لازم دارند، مدل‌های شبیه‌سازی برای تشریح عملکرد سیستم‌های مدیریت آب شامل زه‌کشی زیرزمینی، سطحی و آبیاری به‌کار می‌روند. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای ارائه مدل‌های کامپیوتری برای ارزیابی و طراحی سیستم‌های مدیریت آب به عمل آمده است (۱).

یکی از این مدل‌ها، مدل معروف DRAINMOD است که توسط اسکگز در سال ۱۹۷۸ ارائه شد. مدل DRAINMOD در سال ۱۹۹۲ توسط کندیل و همکاران(۹) برای شبیه‌سازی حرکت نمک در خاک و در سال ۱۹۹۷ به‌وسیله بریو و همکاران(۵) جهت شبیه‌سازی تغییرات نیتروژن در خاک تکمیل شد که به‌ترتیب زیرمدل‌های DRAINMOD-S و DRAINMOD-N به مدل اصلی اضافه گردید.

مدل مذکور توسط بسیاری از محققین برای متعدد مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاکی از قابلیت خوب این مدل بوده است (۳، ۴، ۶، ۷، ۱۱، ۱۲ و ۱۳). ابراهیمیان و همکاران (۱) در اراضی شرکت ران بهشهر عملکرد مدل DRAINMOD را قابل قبول ارزیابی کردند. با ارزیابی عملکرد مدل، مقادیر میانگین انحراف مطلق، خطای استاندارد و ضریب تعیین برای سطح ایستابی به‌ترتیب برابر ۱۴/۴ سانتی‌متر، ۱۶/۷ سانتی‌متر و ۰/۸۹ و برای شدت تخلیه به‌ترتیب برابر ۰/۴۲ میلی‌متر در روز، ۰/۶۵ میلی‌متر در روز و ۰/۷۸ به‌دست آمد.

از طرفی، هدایت هیدرولیکی خاک (K) نیز یکی از پارامترهایی است که مدل‌های مدیریت سطح آب زیرزمینی به آن وابسته و حساس می‌باشند. ورکمن و همکاران (۱۴) با انجام آنالیز حساسیت روی مدل DRAINMOD، هدایت هیدرولیکی را پس از تبخیر و تعرق بالقوه دومین عامل مهم در خروجی‌های این مدل عنوان کردند. با توجه به اهمیت K در علوم آب و خاک، تلاش‌های زیادی برای اندازه‌گیری و یا پیش‌بینی این پارامتر صورت گرفته است. برای اندازه‌گیری K در حالات اشباع و غیر اشباع، روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی متفاوتی که بسته به نوع روش در جهات افقی یا عمودی این پارامتر را اندازه‌گیری می‌کنند، تدوین یافته است. ولی این روش‌ها وقت گیر و پر هزینه بوده و انجام آنها حتی در بازه مکانی محدود برای چند بار هم اختلاف معنی‌داری دارد.

برای پیش‌بینی و یا محاسبه K نیز روش‌های متفاوتی وجود دارد. از جمله این که بر مبنای معادلات زه‌کشی همگام، که برحسب این ضریب نوشته شده باشند، با داده‌های عمق سطح ایستابی و ضریب زه‌کشی می‌توان K را محاسبه کرد. هم‌چنین با بهره‌گیری از مدل RETC که در برگیرنده مدل‌های هدایت هیدرولیکی غیر اشباع است، می‌توان اقدام به تخمین این ضریب در خاک غیر اشباع نمود. در مورد زه‌کشی باید دقت نمود که K افقی در حالت اشباع تعیین شود چرا که زه‌کشی معمولاً با جریان افقی به سمت زه‌کش‌ها در خاک اشباع سروکار دارد.

هافمن (۸) از معادلات مختلف تعیین K در شمال اوهایو استفاده کرد و اثر لایه‌بندی و عمق لایه نفوذ ناپذیر را بر مقدار این ضریب معنی‌دار گزارش نمود. اوزتکین (۱۰) معادلات مختلف تعیین K را در مدلDRAINMOD با بهره‌گیری از داده‌های دبی زه‌کش‌ها و عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده ارزیابی نمود و معادله ون شیلفگارد را برای این کار با فرض صحت نتایج مدل توصیه نمود.

هدف این تحقیق، ارزیابی مدل DRAINMOD در تخمین K با استفاده از نتایج شبیه‌سازی عمق سطح ایستابی و شدت تخلیه در یک سیستم زه‌کشی احداث شده تحت شرایط اقلیمی و هیدرولوژیک منطقه ساحلی و معتدل مازندران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

الف) شرح مدل

مدل DRAINMOD به منظور شبیه‌سازی سطح ایستابی و زه‌آب خروجی از زه‌کش‌ها در مناطقی که سطح ایستابی در عمق کم

قرار گرفته است به‌کار می‌رود. این مدل عموماً در مناطق مرطوب (مانند منطقه طرح) که سطح ایستابی در عمق کمی از سطح زمین واقع شده و به‌کارگیری سیستم‌های زه‌کشی اجتناب ناپذیر می‌باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل براساس محاسبه معادله بیلان آب عمل می‌کند.

بیلان‌بندی در این مدل به دو بخش طبقه‌بندی می‌شود:

بیلان سطحی: می‌توان بیلان آب سطحی مدل را به منظور برآورد نفوذپذیری، رواناب و نگهداشت سطحی به‌کار برد:

$$P = f + \Delta s + Ro \qquad [1]$$

که در آن، P: مقدار بارندگی، f: شدت نفوذ، Δs: تغییرات نگهداشت سطحی و Ro: رواناب سطحی است.

بیلان‌بندی زیرسطحی: مدل، بیلان آب را برای مقطع نازکی از خاک که در وسط دو زه‌کش قرار گرفته است محاسبه می‌کند:

$$\Delta V_a = \pm D + ET + D_S - F \qquad [2]$$

که ΔV_a: تغییرات میزان خلل و فرج خالی از آب، D: عمق آب زه‌کشی (مقدار مثبت) و یا عمق آبی که از طریق آبیاری زیرزمینی تأمین می‌شود (مقدار منفی)، ET: تبخیر و تعرق، D_S: نشت عمقی و F: نفوذ تجمعی است.

مدل DRAINMOD قادر است عملکرد سیستم‌های مختلف مدیریت آب مانند زه‌کشی آزاد، زه‌کشی کنترل شده، آبیاری زیرزمینی و ترکیبی از این سه مورد را شبیه‌سازی کند (۹).

ب) معرفی محل تحقیق

اراضی طرح در شمال شرقی شهرستان بهشهر و در حاشیه جنوبی خلیج گرگان واقع است. منطقه از نظر اقلیمی دارای اقلیم حرارتی نیمه مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و مرطوب و بارندگی کم و زمستان‌های معتدل با بارندگی زیاد است. متوسط بارندگی سالانه ۵۷۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه منطقه ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. هدف طرح، استفاده زراعی از حدود ۸۵۰ هکتار از اراضی بایر، آبگیر، شور و قلیا در نوار ساحلی استان مازندران با عملیات تجهیز و نوسازی و احیای اراضی و توسعه آن برای حدود ۳۰ هزار هکتار از این نوع اراضی بوده است. کشت محصولات در این منطقه به‌صورت دیم می‌باشد. بنابراین زه‌کش‌ها فقط در اثر بارش باران فعال خواهند شد.

به منظور بررسی عملکرد زه‌کش‌ها، یک پلات آزمایشی به وسعت ۳/۳ هکتار انتخاب گردید. اطلاعات جمع‌آوری شده شامل رقوم سطح آب در چاهک مشاهده‌ای واقع بین دو زه‌کش و میزان جریان خروجی از زه‌کش‌ها می‌باشد. اندازه‌گیری دبی خروجی از زه‌کش‌ها با روش حجمی صورت گرفته است. این اطلاعات طی ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند سال ۱۳۸۵ جمع‌آوری شده است.

ج) اطلاعات ورودی مدل

داده‌های ورودی مدل شامل داده‌های اقلیمی، خصوصیات فیزیکی خاک، پارامترهای سیستم زه‌کشی و اطلاعات گیاه می‌باشد.

اطلاعات هواشناسی

اطلاعات هواشناسی مورد نیاز برای مدل شامل بارندگی به‌صورت ساعتی و تبخیر و تعرق به‌صورت روزانه می‌باشد. مدل قابلیت تبدیل اطلاعات روزانه بارندگی به اطلاعات ساعتی این پارامتر را دارد.

اطلاعات خاک

مهم‌ترین اطلاعات ورودی خاک، K افقی و منحنی مشخصه رطوبتی خاک می‌باشد. در جدول ۱ خلاصه‌ای از اطلاعات مربوط به خاک آورده شده است. مدل با توجه به این داده‌ها، سایر خصوصیات فیزیکی خاک از جمله مقدار جریان رو به بالا، حجم تخلخل زه‌کشی شده و ضرایب معادله نفوذ گرین-امپت را نسبت به عمق آب زیرزمینی براساس زیربرنامه‌های خود محاسبه می‌کند. مقدار K در منطقه مورد مطالعه با روش زه‌آب خروجی محاسبه شد.

جدول ۱. خلاصه‌ای از ورودی‌های خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی

لایه	بافت خاک	ضخامت (سانتی‌متر)	رطوبت اشباع	رطوبت پژمردگی
۱	شن لومی	۴۰	۰/۳۹	۰/۰۵
۲	لوم سیلتی	۶۰	۰/۴۴	۰/۰۹
۳	رس سیلتی	۵۰	۰/۴۸	۰/۱۷

پارامترهای سیستم زه‌کشی

ورودی‌های مورد نیاز برای پارامترهای سیستم زه‌کشی شامل عمق نصب زه‌کش، فاصله زه‌کش‌ها، حداکثر عمق ذخیره سطحی، ضریب زه‌کشی، شعاع مؤثر زه‌کشی و عمق لایه غیر قابل نفوذ می‌باشد. این داده‌ها در جدول ۲ خلاصه شده است.

اطلاعات گیاه

ورودی‌های مربوط به گیاه شامل عمق ریشه، تاریخ کاشت و برداشت و اطلاعات مربوط به تنش‌های خشکی و ماندابی است. چون در دوره اندازه‌گیری داده‌ها هیچ کشتی در مزرعه صورت نگرفته بود (دوره آیش) مقدار ۳ سانتی‌متر برای عمق ریشه در نظر گرفته شد (طبق پیشنهاد راهنمای مدل). در واقع این عمق مقدار تبخیر از سطح خاک را در غیاب گیاه نشان می‌دهد.

د) تعیین هدایت هیدرولیکی

روش زه‌آب خروجی (به‌عنوان روش مبنا)

در روش زه‌آب خروجی، K خاک از طریق تجزیه و تحلیل آمار به‌دست آمده از اندازه‌گیری دبی زه‌کش و سطح ایستابی در یک قطعه زمین تعیین می‌گردد. با فرض برقراری فرمول هوخهات، K از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$K = \frac{qL^2}{8dh + 4h^2} \qquad [3]$$

که در آن q: دبی زه‌کشی (میلی‌متر در روز)، L: فاصله زه‌کش‌ها (متر)، h: بار ایستابی بین دو زه‌کش (متر) و d: عمق معادل (متر) می‌باشد.

بررسی نتایج شبیه‌سازی سطح ایستابی و شدت تخلیه زه‌کش‌ها

در این مرحله، مقادیر متفاوتی از K به مدل داده شد و برای هر یک مدل اجرا گردید و نتایج استخراج شد. مقادیر شبیه‌سازی شده عمق سطح ایستابی و شدت تخلیه زه‌کش‌ها به تفکیک با مقادیر مشاهده‌ای آنها با استفاده از پارامترهای آماری مقایسه گردید. مقداری از K که به‌ازای آن بهترین تطابق شبیه‌سازی سطح ایستابی و شدت تخلیه زه‌کش‌ها با مقادیر مشاهده‌ای وجود داشت انتخاب گردید. در این تحقیق، تطابق بین مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی شده با محاسبه چهار پارامتر آماری شامل ضریب تعیین (R^2)، میانگین انحراف مطلق (A.D)، خطای استاندارد (S.E) و ضریب باقی‌مانده (CRM) مشخص شد:

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})(P_i - \overline{P})\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2 \times \sum_{i=1}^{n}(P_i - \overline{P})^2} \qquad [4]$$

$$A.D = \frac{\sum_{i=1}^{n}|O_i - P_i|}{n} \qquad [5]$$

$$S.E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{n}} \qquad [6]$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n}O_i - \sum_{i=1}^{n}P_i}{\sum_{i=1}^{n}O_i} \qquad [7]$$

که در روابط بالا، O_i مقدار مشاهده شده پارامتر مورد نظر، $\overline{O}$ متوسط مقادیر مشاهده شده، P_i مقدار پیش‌بینی شده پارامتر مورد نظر، $\overline{P}$ متوسط مقادیر پیش‌بینی شده و n تعداد اندازه‌گیری است.

جدول ۲. خلاصه‌ای از ورودی‌های پارامترهای سیستم زه‌کشی

پارامتر	مقدار
عمق زه‌کش (متر)	۱/۵
فاصله زه‌کش‌ها (متر)	۷۵
ضریب زه‌کشی (میلی‌متر در روز)	۲/۵
شعاع مؤثر زه‌کش‌ها (سانتی‌متر)	۱/۰
عمق لایه غیر قابل نفوذ (متر)	۱/۵
حداکثر نگهداشت سطحی (سانتی‌متر)	۱/۵

نتایج و بحث

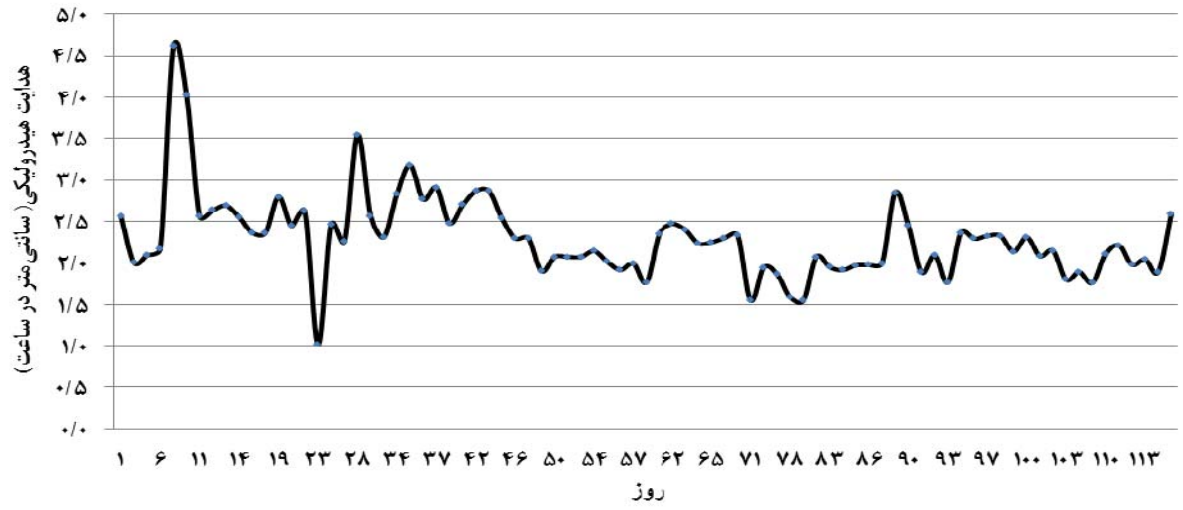
با تجزیه و تحلیل آمار به‌دست آمده از اندازه‌گیری دبی زه‌کش و سطح ایستابی که برای محاسبه K خاک به روش زه‌آب خروجی به‌کار می‌رود، مقدار متوسط این ضریب به‌ازای ۸۱ اندازه‌گیری در چهار ماه برابر ۲/۳ سانتی‌متر در ساعت به‌دست آمد. در شکل ۱ تغییرات K در مدت انجام آزمایش نشان داده شده است.

از طرفی، مدل پس از وارد کردن داده‌های ورودی به‌ازای مقادیر متفاوت K اجرا شد و نوسانات سطح ایستابی بین زه‌کش‌ها در جدول ۳ با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه گردید.

مشاهده می‌شود که با افزایش K، خطای استاندارد و میانگین انحراف مطلق افزایش می‌یابد. ضریب باقی‌مانده نیز از لحاظ مقدار افزایش یافت و منفی بودن مقادیر آن نیز نشان از بیش برآورد کردن مدل است. لذا براساس نتایج شبیه‌سازی عمق سطح ایستابی توسط مدل DRAINMOD، مقدار K برابر یک سانتی‌متر در ساعت برای منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید که به‌ازای آن، مقادیر میانگین انحراف مطلق، خطای استاندارد و ضریب تعیین براساس نزدیک‌ترین سطح ایستابی به‌ترتیب برابر ۵/۲ سانتی‌متر، ۸/۶ سانتی‌متر و ۰/۶۳ به‌دست آمد. با توجه به این‌که مقدار K از روش زه‌آب خروجی نیز برابر ۲/۳ سانتی‌متر در ساعت به‌دست آمد، برای بررسی توانایی مدل در تخمین K با استفاده از خروجی‌های عمق سطح ایستابی، مقدار ۱ با ۲/۳ تفاوت زیادی دارد. بنابراین نمی‌توان از روی مقادیر شبیه‌سازی شده عمق سطح ایستابی توسط مدل DRAINMOD مقدار K را به خوبی تخمین زد و باید اندازه‌گیری K در منطقه طرح انجام شود و یا از روش‌های دیگر تخمین K استفاده شود. با این حال، تحقیقات بیشتری در این زمینه (در اقلیم‌ها، خاک‌ها و شرایط دیگر) می‌تواند توصیه شود.

در شکل ۲ اعماق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده به همراه مقادیر شبیه‌سازی شده آن به‌ازای K یک سانتی‌متر در ساعت ارائه شده است. هم‌چنین شدت تخلیه زه‌کش‌ها در جدول ۴ به‌ازای مقادیر متفاوت ضریب هدایت با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه گردید.

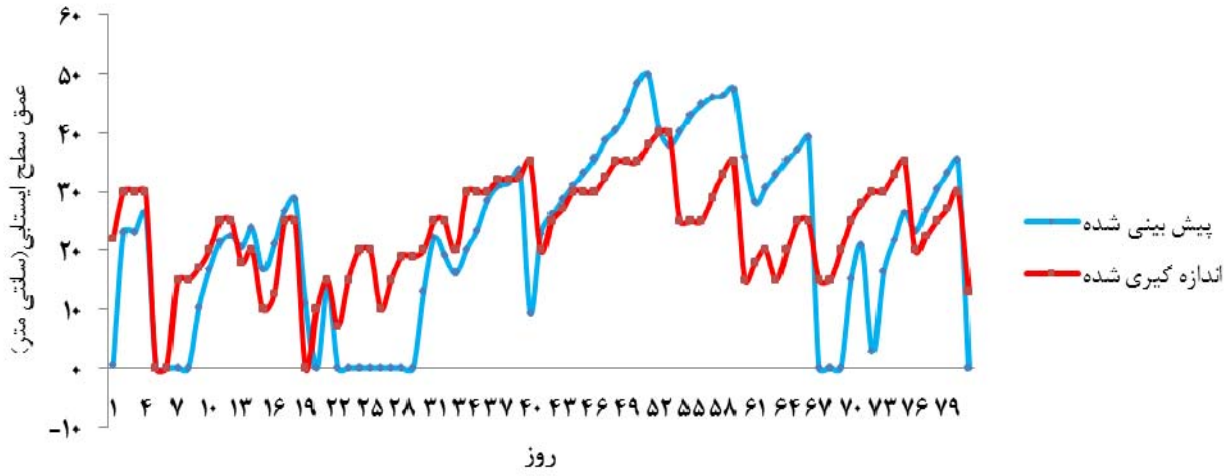
مشاهده می‌شود که با افزایش K، خطای استاندارد، ضریب باقی‌مانده و میانگین انحراف مطلق تخمین شدت تخلیه ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. منفی بودن مقادیر ضریب باقی‌مانده نشان از بیش برآورد کردن مدل است و بالعکس. لذا مقدار ۲/۵ سانتی‌متر در ساعت برای شدت تخلیه انتخاب گردید، که به‌ازای آن مقادیر میانگین انحراف مطلق، خطای استاندارد و ضریب تعیین K براساس نزدیک‌ترین سطح ایستابی به‌ترتیب برابر ۰/۰۵ سانتی‌متر، ۰/۰۹ سانتی‌متر و ۰/۷۶ به‌دست آمد. مقدار K از روش زه‌آب خروجی (۲/۳ سانتی‌متر در ساعت) با مقدار تخمینی آن با استفاده از مقادیر شبیه‌سازی شده شدت تخلیه (۲/۵ سانتی‌متر در ساعت) اختلاف کمی داشت. پس می‌توان از مقایسه مقادیر تخمینی شدت تخلیه زه‌کش‌ها با مقادیر مشاهده‌ای آن، K را تخمین زد و با توجه به مشکل،



شکل ۱. تغییرات K در مدت انجام آزمایش

جدول ۳. پارامترهای ارزیابی مدل در تخمین سطح ایستابی به‌ازای مقادیر متفاوت K

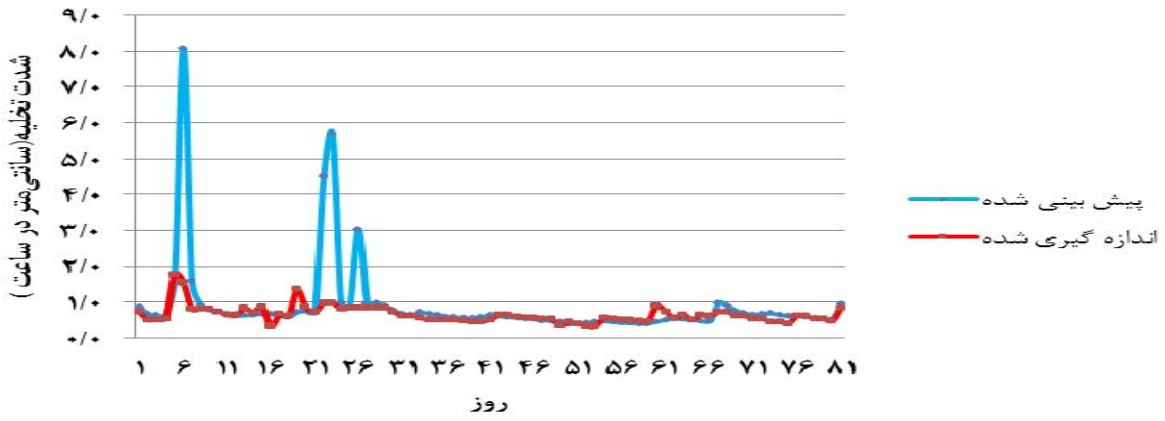
K (cm/hr)	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۴	۵	۸	۱۰	۱۵
R^2	۰/۴۳	۰/۶۰	۰/۶۸	۰/۷۳	۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۶
S.E.	۸/۶	۹/۰	۱۰/۰	۱۱/۲	۱۲/۴	۱۵/۲	۱۸/۰	۲۵/۸	۳۰/۲	۳۸/۵
A.D.	۵/۲	۵/۵	۶/۰	۶/۶	۷/۳	۹/۶	۱۱/۷	۱۷/۳	۲۰/۵	۲۶/۳
CRM	−۰/۱۳	−۰/۲۵	−۰/۳۵	−۰/۴۴	−۰/۵۵	−۰/۷۴	−۰/۹۰	−۱/۳۴	−۱/۵۸	−۲/۰۲



شکل ۲. اعماق سطح ایستابی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده به‌ازای K یک سانتی‌متر در ساعت

جدول ۴. پارامترهای ارزیابی مدل در تخمین شدت تخلیه به‌ازای مقادیر متفاوت K

K (cm/hr)	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۴	۵	۸	۱۰	۱۵
R2	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۲۴	۰/۷۶	۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۸۲
S.E.	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۲۶	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۶۱
A.D.	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۳۶
CRM	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۰۶	-۰/۰۱	-۰/۱۵	-۰/۳۸	-۰/۵۸	-۰/۹۸	-۱/۱۴	-۱/۳۸



شکل ۳. شدت تخلیه اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده به‌ازای K ۲/۵ سانتی‌متر در ساعت

هزینه‌بر و وقت‌گیر بودن، نیازی به اندازه‌گیری K در منطقه وجود ندارد. با این حال تحقیقات بیشتری در این زمینه (در اقلیم‌ها، خاک‌ها و شرایط دیگر) پیشنهاد می‌گردد.

در شکل ۳ شدت تخلیه اندازه‌گیری شده به همراه مقادیر شبیه‌سازی شده آن به‌ازای K ۲/۵ سانتی‌متر در ساعت ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، توانایی مدل DRAINMOD در تخمین K با شبیه‌سازی عمق سطح ایستابی و شدت تخلیه زه‌کش‌ها بررسی گردید. در این راستا نتایج شبیه‌سازی با اجرای مدل با مقادیر مختلف K با مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از پارامترهای آماری مقایسه گردید. سپس بهترین مقدار K برابر با مقداری که بیشترین هم‌بستگی،کمترین خطا و نزدیک‌ترین جواب‌ها در خروجی آن وجود داشت انتخاب گردید. این مقدار تعیین شده بر پایه نتایج شبیه‌سازی مدل با مقدار به‌دست آمده از روش زه‌آب خروجی (به‌عنوان روش مبنا) مقایسه شد. مقدار K برابر ۱ و ۲/۵ سانتی‌متر در ساعت به‌ترتیب برای عمق سطح ایستابی و شدت تخلیه زه‌کش‌ها پیش‌بینی و انتخاب شد. مقدار متوسط آن از روش زه‌آب خروجی نیز برابر ۲/۳ سانتی‌متر در ساعت به‌دست آمد. برای بررسی توانایی مدل در تخمین K با استفاده از خروجی‌های عمق سطح ایستابی مقدار ۱ با ۲/۳ تفاوت زیادی دارد. لذا نمی‌توان از روی نزدیک‌ترین خروجی عمق سطح ایستابی به مقادیر مشاهده‌ای، K را تخمین زد. در بررسی توانایی مدل در تخمین K با استفاده از مقادیر شبیه‌سازی شده شدت تخلیه مقدار ۲/۵ با ۲/۳ تفاوت چندانی ندارد. پس از روی نزدیک‌ترین خروجی شدت تخلیه زه‌کش‌ها به مقادیر

مشاهده‌ای، مقدار K به خوبی تخمین زده شد و با توجه به مشکل، هزینه‌بر و وقت‌گیر بودن، نیازی به اندازه‌گیری K در منطقه نیست. بنابراین می‌توان از مدل DRAINMOD برای تخمین هدایت هیدرولیکی خاک به روش حل معکوس استفاده نمود.

منابع مورد استفاده

۱. ابراهیمیان، ح.، ب. نظری و ع. لیاقت. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل DRAINMOD در شبیه‌سازی سطح ایستابی و شدت تخلیه زه‌کش زیرزمینی (مطالعه موردی: شبکه زه‌کشی شرکت ران بهشهر). مجله پژوهش آب ایران ۱(۱): ۶۷-۷۱.

۲. ابراهیمیان، ح.، ب. نظری و ع. لیاقت. ۱۳۸۹. واسنجی و اعتبارسنجی مدل DRAINMOD-S در شبیه‌سازی عملکرد زه‌کش‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: بهشهر). اولین همایش ملی مدیریت، آب و نوآوری، دانشگاه پیام نور مهریز یزد.

۳. ترک زبان، ح. ۱۳۷۹. ارزیابی و واسنجی مدل DRAINMOD-S تحت شرایط خشک و نیمه خشک ایران. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبیاری و زه‌کشی، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.

۴. رحیمی قباق تپه، م. ۱۳۷۹. ارزیابی مدل DRAINMOD و بررسی تأثیر منطقه غیر اشباع خاک بر نوسانات سطح ایستابی در شرایط نیمه خشک خوزستان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبیاری و زه‌کشی، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

5. Breve, M.A., R.W. Skaggs, J.E. Parsons, J.W. Gilliam, A.T. Mohammad, G.M. Chescheir, R.O. Evans. 1997. Field Testing of DRAINMOD-N. Soil & Water Div. ASAE. 40(4):1077-1085.
6. Change, A.C., R.W. Skaggs, L.F. Herrmsmeier and W.R. Johnson. 1983. Evaluation of a water management model for irrigated agriculture. Trans. ASAE 26: 412-418.
7. Gupta, G.P., S.O. Prasher, S. T. Chieng and I.N. Mathur. 1993. Application of DRAINMOD under semi-arid conditions. Agric. Water Manage. 24: 63–80.
8. Hoffman, G.J. 1963. Tile flow from a stratified anisotropic soil with a falling water table. Master of Science Thesis, Ohio State University, Columbus, Ohio, USA, 83 p.
9. Kandil, M.H. 1992. DRAINMOD-S: A Water Management Model for Irrigated Arid Lands. PhD Diddertation, North Carolina State University, Raleigh.
10. Oztekin,T. 2002. Hydraulic conductivity evaluation for a drainage simulation model (DRAINMOD). Turk. J. Agric. 26: 37-45.
11. Skaggs, R.W. 1978. A water management model for shallow water table soils. Technical Report No. 134, Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, North Carolina State University, Raleigh, NC.
12. Wahba, M. A. S., M. El-Ganainny, M. S. Abdel-Dayem, H. Kandil and A. Gobran. 2002. Evaluation of DRAINMOD-S for simulating water table management under semi-arid conditions. Irrig. and Drain. 51: 213-216.
13. Wang, X., C. T. Mosley, J. R. Frankenberger and E. J. Kladivko. 2006. Subsurface drain flow and crop yield predictions for different drain spacing using DRAINMOD. Agric. Water Manage. 79: 113–136.
14. . WorKman, S.R., R.W. Skaggs, J.E. Parsons and J. Rice (Eds.). 1986. DRAINMOD Users Manual. Biological and Agricultural Engineering Department, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA, 90 p.