نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶ جلد ۱۱، بهمن - اسفند ۱۳۹۶، ص. ۱۱۴۲-۱۱۳۰

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 11, Feb.-Mar. 2018, p. 1130-1142

شبیه‌سازی عملکرد زهکش‌های زیرزمینی هم امتداد و عمود بر جهت آبیاری با استفاده از مدل DRAINMOD

زهرا خالقی[۱]، علیرضا حسن‌اقلی[۲*]، سید مجید میرلطیفی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۷

چکیده

در مرحله طراحی سیستم های زهکشی زیرزمینی، معمول است که جهت اجرای عملیات آبیاری سطحی در مزرعه، به صورت عمود بر امتداد کارگذاری لوله‌های زهکش زیرزمینی در نظر گرفته شود، اما در عمل ممکن است آبیاری به موازات امتداد زهکش‌ها صورت گیرد. هدف این تحقیق، شبیه‌سازی عملکرد سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در امتداد و عمود بر جهت آبیاری، با استفاده از مدل DRAINMOD بود. به همین منظور از داده-های اندازه‌گیری شده (مشتمل بر سطح ایستابی و دبی زهکش‌ها) در چهار واحد آزمایشی، واقع در یکی از پروژه‌های آبیاری و زهکشی دشت میان‌آب استان خوزستان استفاده شد. در دو واحد (هر واحد با پنج خط زهکش زیرزمینی)، عملیات آبیاری هم امتداد با جهت زهکش‌ها و در بقیه، آبیاری عمود بر جهت زهکش‌های زیرزمینی به اجرا درآمده بود. برای مقایسه مشاهدات و نتایج به‌دست آمده از مدل و عملکرد آن در شبیه‌سازی سطوح ایستابی هر دو تیمار، واسنجی و صحت‌سنجی انجام شد. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی تیمار زهکشی عمود بر جهت آبیاری به‌ترتیب برابر با ۱۰/۲۵ و ۱۲/۹۷ و در تیمار زهکشی به‌موازات جهت آبیاری برابر با ۱۳/۰۴ و ۱۳/۸۷ بود. این مقادیر بیان‌گر آن بود که مدل در شبیه‌سازی سطوح ایستابی هر دو تیمار عملکرد موفقیت آمیزی داشته است. همچنین با توجه به اینکه در واحدهای آزمایشی، آبیاری بر اساس حقابه تخصیص یافته صورت می‌گرفت و شرایط کم‌آبیاری بر آنها اعمال شده بود، امکان آبیاری کامل واحدهای آزمایشی در سه راندمان آبیاری ۳۳٪، ۴۰٪ و ۴۵٪ و عکس‌العمل سیستم زهکشی در این شرایط با استفاده از مدل بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد در راندمان آبیاری ۴۵٪ زهکش‌ها قادر به کنترل موفقیت‌آمیز سطح ایستابی بوده و در این راندمان، آبیاری کامل میسر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: زهکشی زیرزمینی، مدل DRAINMOD، جهت آبیاری در مقابل زهکشی، خوزستان، نوسانات سطح ایستابی

مقدمه

منابع طبیعی، آب و سدهای موجود استان خوزستان، استعداد بالقوه‌ای در بخش کشاورزی این استان ایجاد کرده است. حدود یک میلیون هکتار از اراضی این استان قابل کشت است (سمیع‌پور و همکاران، ۱۳۸۹). با این همه، تجمع فراوان املاح در خاک، بالا بودن سطح ایستابی شور و زهکشی طبیعی نامناسب در این اراضی، لزوم استفاده از زهکش‌های مصنوعی برای بهره‌برداری از آن‌ها را ایجاب می‌کند. در این راستا، ۴۲۴ هزار هکتار از اراضی این استان دارای شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری بوده و در قالب طرح مقام معظم رهبری، مقرر شده است که حدود ۵۰۰ هزار هکتار به این اراضی اضافه شود (عزیزی و حسن‌اقلی، ۱۳۹۴). وسعت اراضی که در سال‌های آینده به شبکه‌های آبیاری و زهکشی مجهز خواهند شد، ضرورت ارزیابی پروژه‌های در دست اجرا را مشخص می‌نماید. در واقع با تعیین نقاط قوت و ضعف چنین پروژه‌هایی و موارد مرتبط با آن‌ها، متولیان در عمل قادر به ارائه برنامه‌ای جامع‌تر و بهینه‌سازی شده جهت ادامه پروژه‌های فعلی و آتی خواهند بود. بنابراین لازم است عملکرد پروژه‌های زهکشی در استان، از طریق آزمایش‌های مزرعه‌ای و یا توسط مدل‌های شبیه‌سازی، مورد ارزیابی قرار گیرند تا بدین طریق، برخی نکات خاص و اثر آن‌ها بر عملکرد سیستم زهکشی مشخص شود. هرچند آزمایش‌های مزرعه‌ای برای ارزیابی و بررسی سناریوهای مختلف زهکشی مفید است، اما وجود محدودیت‌های زمانی، مکانی و تکرار در این خصوص، لزوم استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی را ایجاب می‌کند. مدل‌های شبیه‌سازی با رفع محدودیت-های عنوان شده، ابزاری کارآمد برای درک رفتارهای یک سیستم زهکشی را فراهم نموده و قادر به پیش‌بینی اثرات دراز مدت سیستم

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج
۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
(*- نویسنده مسئول: (Email: arho49@yahoo.com

زهکشی نیز خواهند بود.

به‌منظور ارزیابی سیستم‌های زهکشی، از مدل‌های هیدرولوژیکی بسیاری استفاده می‌شود. یکی از دقیق‌ترین و بهترین مدل‌ها برای شبیه‌سازی ذخیره و حرکت آب در نیمرخ خاک، مدل DRAINMOD است. این مدل برای اولین بار در سال ۱۹۷۸ توسط اسکگز جهت مدیریت آب خاک در شرایط مرطوب که سطح ایستابی در عمق کمی نسبت به سطح زمین قرار دارد، مورد استفاده قرار گرفت. در مدل DRAINMOD از مفهوم بیلان ماکروسکوپی آب در یک ستون عمودی خاک که از لایه غیرقابل نفوذ تا سطح خاک و در فاصله بین دو زهکش موازی قرار گرفته است، برای تعیین سطح ایستابی استفاده می‌شود (Skaggs., 1982). مدل DRAINMOD با شبیه‌سازی رژیم جریان آب در سیستم‌های زهکشی سطحی و زیرزمینی، خصوصیات هیدرولوژیکی خاک‌هایی با سطح ایستابی بالا را برآورد کرده (Sinai and Jain., 2005) و قادر به برآورد رواناب سطحی، نفوذ، تبخیر- تعرق، میزان زهکشی زیرزمینی و نشت در مناطق زهکشی شده خواهد بود (Skaggs., 1978). علی‌رغم ارائه DRAINMOD-D در سال‌های بعد که به‌طور ویژه برای مناطق خشک طراحی شده بود، تجارب موفقیت آمیز استفاده از مدل اصلی (ویژه مناطق مرطوب) در مناطق خشک و نیمه خشک، بیان‌گر امکان استفاده از نسخه ابتدایی مدل DRAINMOD در چنین مناطقی می‌باشد.

کامیکا با مقایسه DRAINMOD با مدل‌های هیدرولوژیکی مانند SWIM[1] یا مدل نفوذ و حرکت آب خاک (Barkle et al., 1998)، SWATREN[2] یا مدل آب خاک و نیاز واقعی تعرق (Workman et al., 1986)، RZQW[3] یا مدل کیفیت آب منطقه ریشه (Ma et al., 2007)، ADAPT[4] یا مدل انتقال آفت کش‌ها و زهکشی در کشاورزی (Sands et al., 2003) نشان داد، مدل DRAINMOD با وجود نیاز به داده‌های ورودی کمتر و ساده‌تر، قادر به حفظ دقت و صحت در شبیه‌سازی می‌باشد (Kameka., 2009). بابازاده و همکاران (۱۳۸۹) نوسانات سطح ایستابی بخشی از شبکه آبیاری و زهکشی نخلستان‌های آبادان را با پیش‌بینی‌های مدل DRAINMOD مورد مقایسه قرار دادند. خطای استاندارد مدل در پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ به‌ترتیب برابر با ۶/۹۹ و ۸/۹۴ سانتی‌متر به‌دست آمد که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل بود. از مدل DRAINMOD برای تعیین مناسب‌ترین پارامترهای طراحی زهکشی زیرزمینی در مزرعه‌ای در Pongola آفریقای جنوبی استفاده شد (Malota and Senzanje., 2015). در این تحقیق که از سپتامبر ۲۰۱۱ تا فوریه ۲۰۱۲ به‌طول انجامید، متوسط خطای مطلق (MAE) مدل در پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی برابر با ۵/۳ سانتی‌متر به‌دست آمد و مدل DRAINMOD به‌عنوان ابزاری کارآمد در طراحی پارامترهای زهکشی زیرزمینی معرفی شد. ژیمینگ و همکاران از مدل DRAINMOD برای تعیین کفایت سطح اطلاعات هیدرولیکی خاک، برای پیش‌بینی زهکشی زیرزمینی در Gilmore ایالات متحده استفاده کردند. مطالعه آن‌ها نشان داد، تعیین بافت و جرم مخصوص ظاهری خاک و سپس استفاده از نرم‌افزار ROSETTA برای تعیین ویژگی‌های هیدرولیکی، نوسانات سطح ایستابی را به‌طور قابل قبولی پیش‌بینی خواهد کرد (Zhiming et al., 2015).

در مرحله طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی، به‌طور معمول آرایش عملیات آبیاری سطحی در اراضی کشاورزی، عمود بر جهت کارگذاری زهکش‌ها درنظر گرفته می‌شود. اما در شرایط واقعی مزرعه ممکن است بنا به تغییرات ایجاد شده توسط کشاورزان در اراضی زراعی و یا در نتیجه ملاحظات عملیاتی و اجرایی، آبیاری در اراضی کشاورزی در امتداد زهکش‌ها صورت گیرد. جهت آبیاری نسبت به جهت زهکشی، به دلیل افت بار هیدرولیکی که هنگام ورود آب به داخل لوله‌های زهکش رخ می‌دهد، مورد توجه قرار می‌گیرد. افت بار هیدرولیکی با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید (علیزاده، ۱۳۸۴):

$$h_e = \alpha \frac{Q}{K} \qquad (۱)$$

که در آن: h_e: افت بار در محل ورود آب به داخل لوله (متر)، α ضریب اصطکاک (بدون بعد) که وابسته به جنس لوله است، Q دبی ورودی به داخل لوله در هر متر طول آن (متر مکعب بر متر بر روز) و K ضریب هدایت هیدرولیکی پوشش دور لوله (متر بر روز) می‌باشد. عامل اصلی افت بار هیدرولیکی، کوچک بودن سطح مقطع جریان در هنگام ورود آب به داخل لوله‌های زهکش و مقاومت درز و شکاف‌ها در مقابل حرکت آب می‌باشد. این امر، باعث تلف شدن مقداری از انرژی آب در هنگام ورود آن به داخل لوله زهکش می‌شود. بنابراین ممکن است تغییر جهت جریان آب بر روی سطح خاک در مرحله پیشروی (و در داخل زمین) و در هنگام نزدیک شدن به لوله زهکش، بر نحوه عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی در کنترل سطح ایستابی مؤثر باشد. لذا در این پژوهش به بررسی اثر همین موضوع بر نحوه عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی اجرا شده در بخشی از اراضی شبکه آبیاری و زهکشی دشت میان‌آب استان خوزستان، با استفاده از مدل DRAINMOD پرداخته شد. در راستای این هدف و به‌منظور حصول اطمینان از پیش‌بینی‌های مدل، مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی ضرورت داشت. همچنین، در راستای تعیین پارامترهای ورودی مؤثرتر در شبیه‌سازی، انجام آنالیز حساسیت برای این پارامترها در دستور کار قرار گرفت. سپس، با توجه به اینکه آبیاری

1- Soil Water Infiltration and Movement
2- Soil Water and Actual Transpiration Rate
3- Root Zone Water Quality Model
4- Agricultural Drainage and Pesticide Transport

واحدهای آزمایشی بر اساس حقابه تخصیص یافته صورت گرفته و برنامه‌ریزی آبیاری در آنها انجام نشده بود، نیاز آبی واحدهای آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار AGWAT تعیین شد تا امکان پذیری آبیاری کامل مزارع آزمایشی با استفاده از مدل DRAINMOD مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

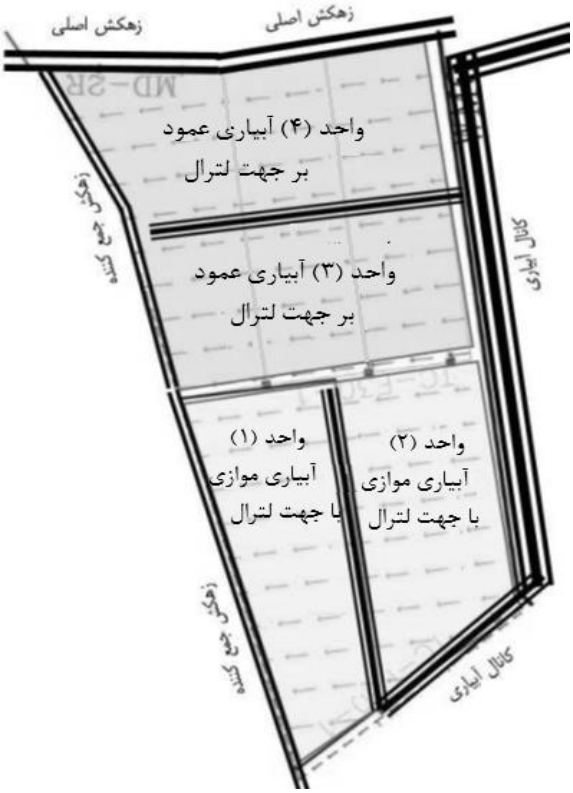
مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه و واحدهای آزمایشی

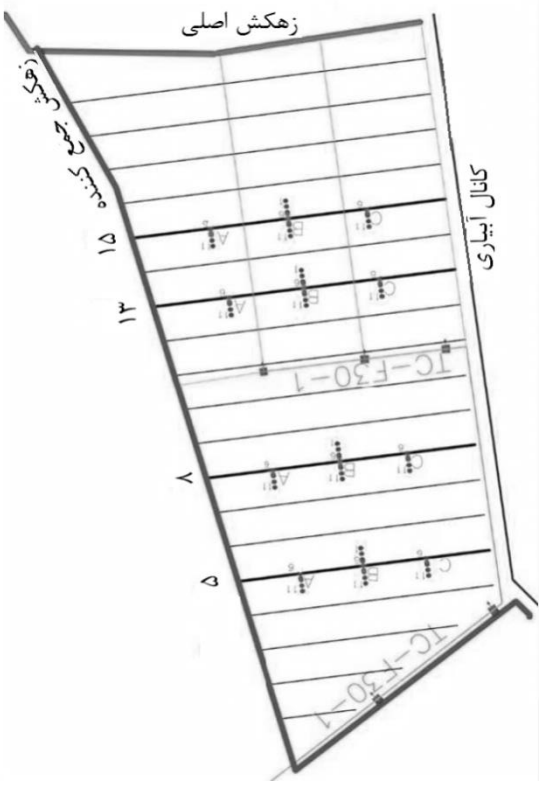
منطقه مورد نظر در محل پروژه آبیاری و زهکشی دشت میان‌آب قرار داشت. وسعت این دشت ۳۷ هزار هکتار بوده و در حد فاصل ۱۳۰ کیلومتری شمال اهواز و جنوب شهرستان شوشتر قرار دارد. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۳۲ متر است و دارای آب و هوای گرم و بیابانی می‌باشد. میانگین بارش سالانه در این دشت ۲۵۴ میلی‌متر، تبخیر سالانه در حدود ۲۶۷۸ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن ۲۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (عزیزی و حسن‌اقلی، ۱۳۹۴). این دشت به دلیل وسعت زیاد و شرایط متفاوت خاک، توپوگرافی و ... به هفت ناحیه عمرانی (داریون ۱ تا ۷) تقسیم شده است. واحدهای آزمایشی انتخاب شده، در ناحیه عمرانی داریون ۳ و منطقه سه بنه دشت میان-آب قرار داشت (شکل ۱). واحدهای با زهکش‌های موازی با جهت آبیاری، شامل واحدهای شماره ۱ و ۲، با وسعتی بالغ بر ۲۰ هکتار و واحدهای دارای زهکش‌های عمود بر جهت آبیاری، شامل واحدهای شماره ۳ و ۴ با وسعتی برابر با ۲۴ هکتار بود. در هریک از واحدهای تحقیقاتی مورد نظر، پنج خط زهکش زیرزمینی قرار داشت (جمعاً ۲۰ خط زهکش). نوسانات سطح ایستابی با استفاده از چاهک‌های مشاهداتی که در اطراف زهکش میانی هر واحد و با آرایش استاندارد نصب شده بود (مطابق شکل ۲)، در زمستان سال ۱۳۹۴ اندازه‌گیری شد.

داده‌های ورودی مدل

داده‌های ورودی مورد نیاز این مدل شامل اطلاعات هواشناسی، اطلاعات خاک، اطلاعات سیستم زهکشی و اطلاعات محصول تحت کشت می‌باشد.



شکل ۱- شمای کلی از مزرعه و واحدهای آزمایشی (عزیزی و حسن‌اقلی، ۱۳۹٤)



شکل۲- محل قرارگیری چاهک‌های مشاهداتی در اطراف زهکش میانی هر واحد (عزیزی و حسن‌اقلی، ۱۳۹٤)

اطلاعات خاک

هدایت هیدرولیکی

هدایت هیدرولیکی خاک منطقه (جدول ۱)، با استفاده از دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیکی خاک به روش‌های مختلف اندازه‌گیری شد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۴). به همین منظور از روش چاهک معکوس جهت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی استفاده به عمل آمد.

بافت و دانه‌بندی خاک

به منظور تعیین بافت و چگونگی توزیع ذرات خاک بر حسب قطر در نمونه‌های مورد بررسی، آزمایش دانه‌بندی تا عمق ۱۸۰ سانتی‌متری برای هریک از تیمارهای تحت آزمایش صورت گرفت. خصوصیات فیزیکی خاک مربوط به هر تیمار در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است. بر اساس نتایج آزمایش دانه‌بندی و در مرحله مدل-سازی، با توجه به اینکه در تمامی لایه‌های تحت بررسی واحدهای آبیاری به موازات جهت زهکش‌ها، خاک از نوع رس سیلتی (silty clay) بود، خاک این واحدها تک لایه در نظر گرفته شد. اما در واحدهای با آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها، با توجه به تفاوت کلاس بافتی خاک در لایه تحتانی (عمق ۱۸۰-۱۵۰ سانتی‌متر) ناشی از شرایط طبیعتی منطقه، خاک این واحدها دو لایه در نظر گرفته شد.

جدول۱- هدایت هیدرولیکی تیمارهای تحت آزمایش (عزیزی و حسن‌اقلی، ۱۳۹٤)

عمق خاک (cm)	تیمار	هدایت هیدرولیکی (cm/hr)
۰ – ۹۰	آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها	۰/۶۶
۹۰ – ۱۵۰	آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها	۰/۶۳
۱۵۰ – ۱۸۰	آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها	۰/۵۵
۰ – ۹۰	آبیاری به موازات جهت زهکش‌ها	۰/۶۸
۹۰ – ۱۵۰	آبیاری به موازات جهت زهکش‌ها	۰/۷۳
۱۵۰ – ۱۸۰	آبیاری به موازات جهت زهکش‌ها	۰/۶۶

جدول۲- خصوصیات فیزیکی خاک در مزارع آبیاری به موازات جهت زهکش‌ها (عزیزی و حسن‌اقلی، ۱۳۹٤)

عمق خاک (cm)	کلاس بافت خاک	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	درصد رطوبت حجمی در فشار ۱۵ بار	درصد رطوبت حجمی در فشار ۰/۳ بار
۰ – ۹۰	Silty clay	۴۸/۶	۴۶	۵/۳	۱۴/۳	۲۶/۹
۹۰ – ۱۵۰	Silty clay	۴۷	۴۶/۵	۶/۵	۱۳/۵	۲۵/۱
۱۵۰ – ۱۸۰	Silty clay	۴۴	۴۸	۸	۱۴/۹	۲۸/۶

جدول۳- خصوصیات فیزیکی خاک در مزارع آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها (عزیزی و حسن‌اقلی، ۱۳۹٤)

عمق خاک (cm)	کلاس بافت خاک	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	درصد رطوبت حجمی در فشار ۱۵ بار	درصد رطوبت حجمی در فشار ۰/۳ بار
۰ – ۹۰	Silty clay	۴۷	۴۶	۷	۱۳/۸	۲۴/۴
۹۰ – ۱۵۰	Silty clay	۴۳	۴۳	۱۴	۱۳/۵	۲۳/۳
۱۵۰ – ۱۸۰	Silty clay loam	۳۰	۵۲	۱۸	۱۱/۹	۲۱/۵

منحنی مشخصه رطوبتی خاک

برای تعیین منحنی مشخصه رطوبتی خاک، از نرم افزار RETC استفاده شد. برای پیش‌بینی مقادیر هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک با استفاده از این نرم افزار، از معادله ون‌گنوختن- معلم (Van Genuchten-Mualem) با m و n وابسته و از رابطه‌های ۲ و ۳ استفاده شد:

$$m = 1 - \frac{1}{n} \qquad (۲)$$

$$K(h) = K_S \frac{\left[(1-(\alpha h)^{n-1})\left([1+(\alpha h)^n]^{-m}\right)\right]^2}{(1+(\alpha h)^n)^{\frac{m}{2}}} \qquad (۳)$$

در این معادله، K(h) هدایت هیدرولیکی خاک در مکش h، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، α عکس مکش ورود هوا (1/cm)، m

و n ضرایب تجربی بدون بعد می‌باشند. محاسبه پارامترهای مورد نیاز معادله ون‌گنوختن- معلم با استفاده از نرم افزار ROSETTA (با داده‌های ورودی درصدهای شن، سیلت و رس، جرم مخصوص ظاهری و مقدار رطوبت در پتانسیل ماتریک ۳۳ کیلو پاسکال و ۱۵۰۰ کیلو پاسکال) صورت گرفت. جدول ۴ نشان‌دهنده پارامترهای مورد نیاز معادله ون‌گنوختن- معلم در هر دو تیمار تحت آزمایش می‌باشد. θr رطوبت باقی‌مانده (cm^3/cm^3)، θs رطوبت اشباع خاک (cm^3/cm^3) و K_S هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (cm/hr) می‌باشند که به‌جز هدایت هیدرولیکی اشباع، همه مقادیر با استفاده از بانک اطلاعاتی ROSETTA محاسبه شده‌اند. همچنین شکل‌های ۳ و ۴ نشان‌دهنده منحنی مشخصه رطوبتی خاک در هر دو تیمار تحت آزمایش می‌باشد.

نتایج و بحث

آنالیز حساسیت

به‌منظور شناسایی مؤثرترین پارامترها بر تغییرات سطح ایستابی هر دو تیمار تحت بررسی، ابتدا آنالیز حساسیت مدل انجام شد و با استفاده از رابطه‌های ۴ و ۵، حساسیت مطلق و حساسیت نسبی جریان خروجی از زهکش مؤثر بر تغییرات سطح ایستابی، نسبت به برخی از پارامترهای ورودی، مورد بررسی قرار گرفت (Haan and Skaggs., 2003):

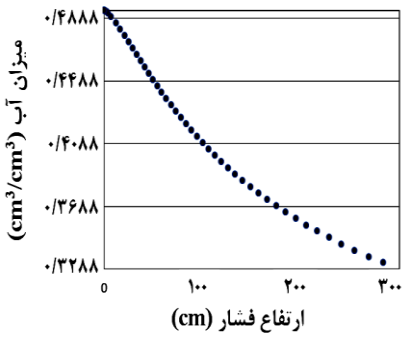
$$S = \frac{\partial O}{\partial P} \quad (۴)$$

$$S_r = (\frac{\partial O}{\partial P})(\frac{P}{O}) \quad (۵)$$

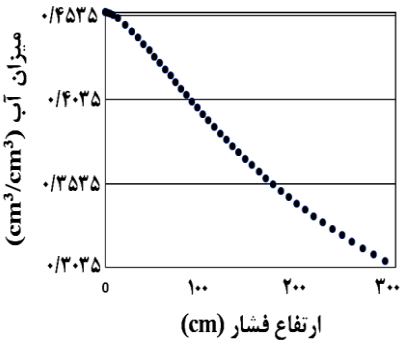
در روابط فوق؛ S حساسیت مطلق و S_r حساسیت نسبی بوده، همچنین P مقادیر پایه پارامترهای ورودی و O مقدار پایه تابع هدف (زمانی که مدل بر اساس مقادیر پایه ارزیابی می‌شود) می‌باشد.

جدول٤- پارامترهای مورد نیاز معادله ون‌گنوختن- معلم برای هر دو تیمار تحت آزمایش

پارامتر	تیمار آبیاری به موازات جهت زهکش‌ها	تیمار آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها (لایه اول)	تیمار آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها (لایه دوم)
α	۰/۰۱۳۱	۰/۰۱۲۸	۰/۰۰۷۵
m	۰/۲۶۶۲	۰/۲۶۸۵	۰/۳۴۳۲
n	۱/۳۶۲۸	۱/۳۶۷	۱/۵۲۲۶
θ_r	۰/۱۰۱۹	۰/۰۹۹۱	۰/۰۸۳۴
θ_s	۰/۵۰۳۳	۰/۴۹۳۹	۰/۴۵۵۳
K_S	۰/۶۳۹۶	۰/۶۲۷۱	۰/۵۱۰۴

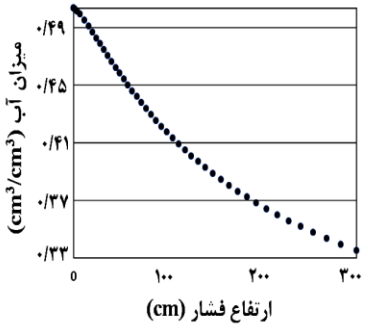


الف) عمق ۱۵۰ – ۰ سانتیمتر خاک



ب) عمق ۱۸۰ – ۱۵۰ سانتیمتر خاک

شکل ۳- منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک برای تیمار آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها



شکل٤- منحنی مشخصه رطوبتی خاک در تیمار آبیاری به موازات جهت زهکش‌ها

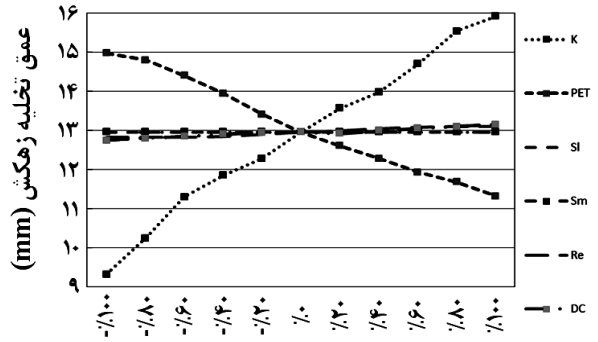
با توجه به اینکه مدل DRAINMOD در شکل تابع پیوسته‌ای از پارامترها نبوده، بلکه به‌صورت مجموعه‌ای از الگوریتم‌های پیوسته و ناپیوسته است، از روش حل عددی برای تعیین حساسیت‌های نسبی پارامترها توسط رابطه‌های ۶ و ۷ استفاده شد (Haan and Skaggs., 2003).

$$\frac{\partial O}{\partial P} = (O_{p+\Delta P} - O_{p-\Delta P}) / 2\Delta P \quad (۶)$$

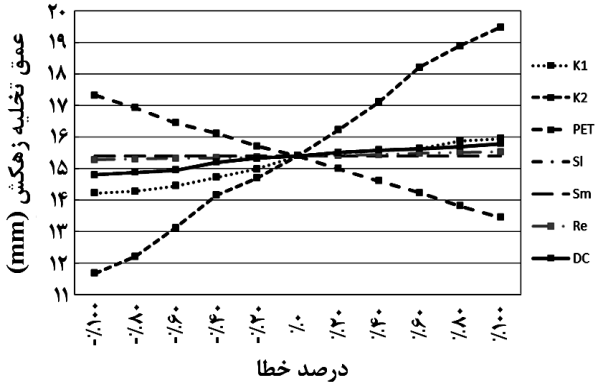
$$\Delta P = P \times \text{درصد تغییرات} \quad (۷)$$

در رابطه ۶، $(O_{p+\Delta P} - O_{P-\Delta P})$ برابر با تغییر ایجاد شده در تابع هدف در اثر اضافه و کم کردن درصد خطا، به مقدار پایه پارامتر ورودی مورد نظر است. ΔP نیز همان‌طور که در رابطه ۷ آورده شده است، حاصل‌ضرب مقدار پایه پارامتر ورودی در درصد تغییرات است.

در این پژوهش، آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای ورودی شامل؛ K هدایت هیدرولیکی (cm/hr)، PET تبخیر- تعرق پتانسیل (mm)، S_l و S_m ضرایب مربوط به زهکشی سطحی (cm)، R_e شعاع مؤثر زهکشی (cm) و DC ضریب زهکشی (cm/day) انجام گرفت. به این منظور هر یک از پارامترهای مذکور در محدوده ٪۱۰۰- تا ٪۱۰۰+ در هر دو تیمار تحت آزمایش، تغییر داده شدند و سپس به ازاء تغییر در هر پارامتر ورودی، متوسط برآورد سالانه جریان خروجی از زهکش (cm) که به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده بود، بررسی شد. در نهایت، حساسیت تابع هدف نسبت به تغییرات اعمال شده در هر یک از پارامترهای ورودی محاسبه گردید. شکل‌های ۵ و ۶ به همراه جدول‌های ۵ و ۶، تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات در پارامترهای ورودی هر دو تیمار مورد بررسی را نشان می‌دهند. لازم به‌ذکر است با توجه به دو لایه بودن خاک در تیمار آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها، هدایت هیدرولیکی خاک در این تیمار، در دو لایه مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۵- حساسیت مدل در برآورد عمق سالانه زهاب خروجی از زهکش، نسبت به خطای ایجاد شده در پارامترهای ورودی انتخاب شده در تیمار آبیاری به‌موازات جهت زهکش‌ها



شکل ٦- حساسیت مدل در برآورد عمق سالانه زهاب خروجی از زهکش، نسبت به خطای ایجاد شده در پارامترهای ورودی انتخاب شده، در تیمار آبیاری عمودبر جهت زهکش‌ها

ارزیابی مدل DRAINMOD

در آنالیز حساسیت صورت گرفته، میزان تخلیه زهکش به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد. از آنجا که تخلخل قابل زهکشی به عنوان رابط بین حجم زهکشی و عمق سطح ایستابی عمل می‌کند (Skaggs et al., 2012)، لذا بین مقادیر حجم قابل زهکشی و عمق سطح ایستابی رابطه مستقیمی برقرار است. همچنین، دو پارامتر

هدایت هیدرولیکی و تبخیر- تعرق پتانسیل که در مرحله آنالیز حساسیت مدل به‌عنوان مؤثرترین عوامل بر میزان تخلیه زهکش‌ها معرفی شدند، بر نوسانات عمق سطح ایستابی مؤثرند. بنابراین در زمان جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز مدل، توصیه می‌شود که ضمن رعایت دقت در اندازه‌گیری کلیه پارامترهای ورودی، اندازه‌گیری این دو پارامتر با حساسیت بیش‌تری انجام شود.

جدول۵- حساسیت نسبی تابع هدف نسبت به تغییرات پارامترهای ورودی در تیمار آبیاری به موازات جهت زهکش‌ها

خطا (٪)	R_e (cm)	PET (mm)	K (cm/hr)	DC (cm/day)
±۲۰	۰/۰۱۹	-۰/۱۵۴	۰/۲۴۹	-۰/۰۰۶
±۴۰	۰/۰۱۰	-۰/۱۶۱	۰/۱۹۶	۰/۰۰۵
±۶۰	۰/۰۱۶	-۰/۱۶۹	۰/۱۸۶	۰/۰۱۳
±۸۰	۰/۰۰۸	-۰/۱۶۹	۰/۲۵۵	۰/۰۱۴
±۱۰۰	۰/۰۱۰	-۰/۱۵۰	۰/۳۱۸	۰/۰۱۵

جدول ٦- حساسیت نسبی تابع هدف نسبت به تغییرات پارامترهای ورودی در تیمار آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها

خطا (٪)	R_e (cm)	PET (mm)	K_2 (cm/hr)	K_1 (cm/hr)	DC (cm/day)
±۲۰	۰/۰۰۶	-۰/۲۵۰	۰/۰۵۴	۰/۰۲۲	۰/۰۰۵
±۴۰	۰/۰۰۸	-۰/۱۲۳	۰/۲۹۹	۰/۰۷۰	۰/۰۳۲
±۶۰	۰/۰۰۹	-۰/۱۲۰	۰/۲۳۶	۰/۰۶۳	۰/۰۳۷
±۸۰	۰/۰۰۹	-۰/۱۲۷	۰/۲۷۱	۰/۰۶۵	۰/۰۳۳
±۱۰۰	۰/۰۰۸	-۰/۱۲۶	۰/۲۵۳	۰/۰۵۶	۰/۰۳۲

به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی تیمار آبیاری به‌موازات جهت زهکش‌ها، داده‌های مشاهداتی واحدهای شماره ۱ و ۲ با داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل در طول دوره داده‌برداری مورد مقایسه قرار گرفتند. در تیمار آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها، مقایسه داده-های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل در طول دوره داده-برداری، برای واحدهای شماره ۳ و ۴ جهت واسنجی و صحت‌سنجی تیمار مذکور صورت گرفت. به این منظور، از برخی شاخص‌های آماری استفاده شد. این شاخص‌ها عبارتند از: متوسط خطای مطلق (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) که بیان‌کننده مقدار خطای کل شبیه‌سازی بوده، ضریب باقی‌مانده جرم (CRM) که مشخص‌کننده بیش‌برآورد یا کم‌برآورد بودن مدل است و ضریب تعیین (R^2) که نشان‌دهنده نسبت پراکندگی مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده‌ای در اطراف میانگین مشاهدات است. مقدار R^2 بین صفر تا یک بوده و مقادیر نزدیک به یک نشان دهنده تطابق بهتر بین مشاهدات و نتایج مدل خواهد بود. این پارامترهای آماری در رابطه-های ۸ تا ۱۱ آورده شده است. در این رابطه‌ها؛ O_i مقدار مشاهده شده در نقطه iام، P_i مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل در نقطه iام، n تعداد کل نقاط مورد بررسی، $\bar{O}$ مقدار متوسط مقادیر مشاهده شده در طول دوره زمانی و $\bar{P}$ مقدار متوسط مقادیر پیش‌بینی شده در طول دوره زمانی می‌باشد.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|O_i - P_i|}{n} \quad (۸)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2} \quad (۹)$$

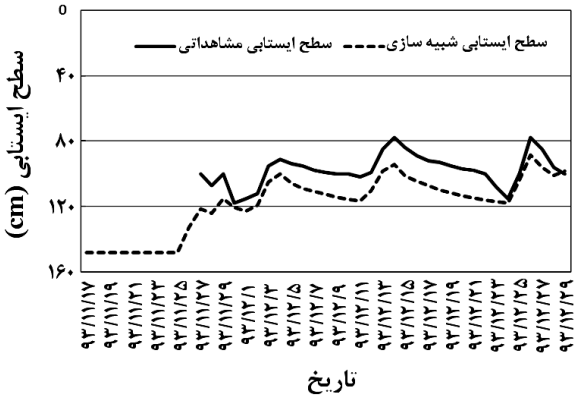
$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n}P_i - \sum_{i=1}^{n}O_i}{\sum_{i=1}^{N}O_i} \quad (۱۰)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{p})}}\right]^2 \quad (۱۱)$$

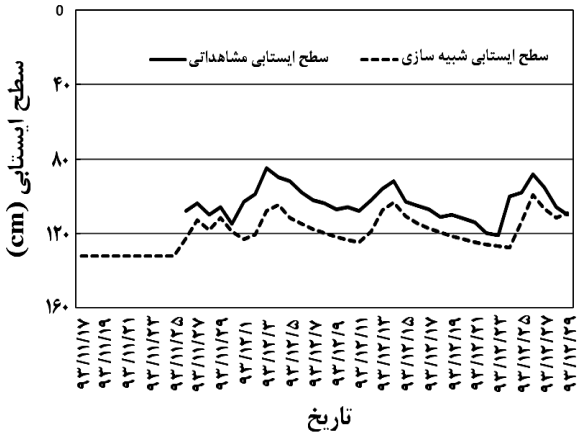
شکل‌های ۷ تا ۱۰ بیانگر نوسانات سطح ایستابی مشاهده شده و محاسبه شده توسط مدل DRAINMOD در هر دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی، برای هر دو تیمار آبیاری موازی و عمود بر جهت زهکش‌ها است. همچنین جدول ۷ نیز نشان‌دهنده مقادیر متوسط خطای مطلق، جذر میانگین مربعات خطا، ضریب باقی‌مانده جرم و ضریب تعیین، برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی هر دو تیمار مذکور است.

اسکگز در بررسی‌های خود، حد آستانه مقدار MAE را برای مقادیر سطح ایستابی اعلام داشته است. بر این اساس، اگر مقدار MAE کمتر از ۱۰ سانتی‌متر باشد، توافق بین داده‌های مشاهداتی و

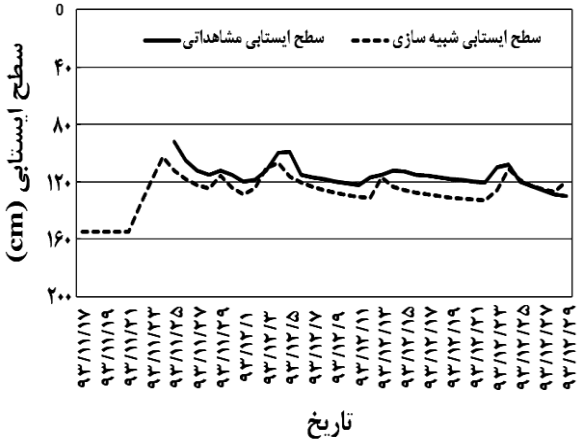
شبیه‌سازی شده عالی، و در صورتیکه این مقدار کمتر از ۱۵ و کمتر از ۲۰ باشد، توافق مذکور به ترتیب خوب و قابل قبول خواهد بود. بنابراین، توافق بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده سطح ایستابی توسط مدل در تیمار آبیاری به موازات جهت زهکش‌ها در هر دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی، مبین ارزیابی خوب آن‌ها است. در حالی‌که در تیمار آبیاری عمود بر جهت زهکش-ها، عملکرد مدل در دوره واسنجی عالی و در دوره صحت سنجی، خوب ارزیابی شد (Skaggs., 1980).



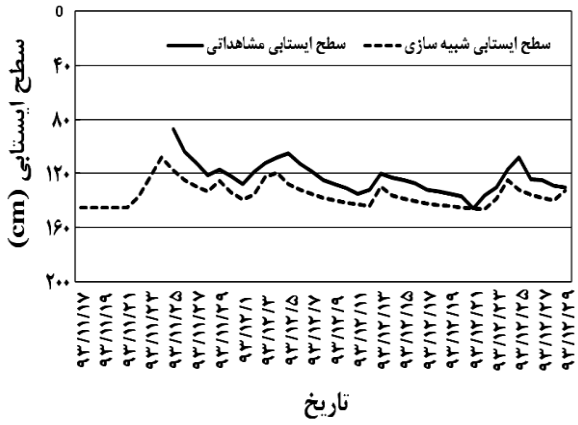
شکل۷- سطح ایستابی مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل در تیمار آبیاری به‌موازات جهت زهکش‌ها در دوره واسنجی



شکل۸- سطح ایستابی مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل در تیمار آبیاری به‌موازات جهت زهکش‌ها در دوره صحت سنجی



شکل۹- سطح ایستابی مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل در تیمار آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها در دوره واسنجی



شکل۱۰- سطح ایستابی مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل در تیمار آبیاری عمود بر جهت زهکش‌ها در دوره صحت سنجی

اسکگز، مقدار جذر میانگین مربعات خطا یا RMSE را در پیش-بینی مقادیر سطح ایستابی، بین ۷/۵ تا ۱۹/۶ سانتی‌متر به‌دست آورد که مقادیر RMSE به دست آمده در جدول ۷ نیز در همین محدوده قرار داشته و مؤید قابل قبول بودن مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل، در هر دو تیمار تحت بررسی بود. مقادیر CRM در دوره واسنجی و صحت‌سنجی هر دو تیمار تحت بررسی مثبت بود که نشان از بیش برآورد بودن مدل در پیش‌بینی مقادیر سطح ایستابی دارد. دلیل این امر می‌تواند اختلاف بین تبخیر- تعرق واقعی و شبیه‌سازی شده، به علت روش انتخابی جهت محاسبه تبخیر- تعرق و یا خطا در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی و منحنی مشخصه رطوبتی خاک باشد (Skaggs., 1980).

طی مطالعاتی که توسط یوسف و همکاران، با داده‌های شش ساله زهکشی مصنوعی، در دشت ساحلی کارولینای شمالی و جهت ارزیابی مدل DRAINMOD 5.1 صورت گرفت، مدل در پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی در چهار سال از شش سال، بیش‌برآورد و در موارد دیگر، کم‌برآورد بوده است (Youssef et al., 2006). بنابراین نمی-توان به‌صورت قطعی به بیش برآورد بودن مدل در منطقه مورد مطالعه اذعان داشت و ارائه حکم قطعی در این مورد، نیاز به مطالعات طولانی مدت‌تر دارد. همچنین نزدیک بودن مقادیر ضریب تعیین (R^2) به یک، در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی هر دو تیمار، نشان از همبستگی مناسب داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دارد.

جدول۷- پارامترهای آماری هر دو تیمار آزمایشی در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی

پارامترهای آماری	تیمار آزمایشی	دوره واسنجی	دوره صحت سنجی
MAE (cm)	آبیاری به‌موازات جهت زهکشی	۱۲/۰۹	۱۲/۳۶
	آبیاری عمود بر جهت زهکشی	۸/۹۵	۱۱/۸۵
RMSE (cm)	آبیاری به‌موازات جهت زهکشی	۱۳/۰۴	۱۳/۸۷
	آبیاری عمود بر جهت زهکشی	۱۰/۲۵	۱۲/۹۷
CRM	آبیاری به‌موازات جهت زهکشی	۰/۱۱۵	۰/۱۱
	آبیاری عمود بر جهت زهکشی	۰/۰۷	۰/۱
R^2	آبیاری به‌موازات جهت زهکشی	۰/۷۹	۰/۸۲
	آبیاری عمود بر جهت زهکشی	۰/۸۲	۰/۷۳

آبیاری مطابق با نیاز آبی محاسباتی

در این پژوهش، آبیاری مزارع تنها با در نظر گرفتن حقابه تخصیص یافته به انجام رسید و برنامه‌ریزی آبیاری در این مورد صورت نگرفت. با استفاده از نرم افزار AGWAT که نرم‌افزار برنامه-ریزی آبیاری بر اساس داده‌های سند ملی نیاز آبی کشور می‌باشد، مقدار آب مورد نیاز واحدهای آزمایشی با راندمان آبیاری ۳۳٪ برابر با ۶۳۲ میلی‌متر به‌دست آمد. اما حتی با در نظر گرفتن مقادیر بارندگی نیز، حدود عمق آب دریافتی مزارع در سرتاسر فصل کشت از ۲۴۰ میلی‌متر تجاوز ننمود که نشان از اعمال شرایط کم‌آبیاری در واحدهای آزمایشی داشت. بنابراین با فرض آبیاری کامل اراضی منطقه، مطابق با نیاز آبی محاسباتی (با استفاده از نرم افزار AGWAT) و با لحاظ

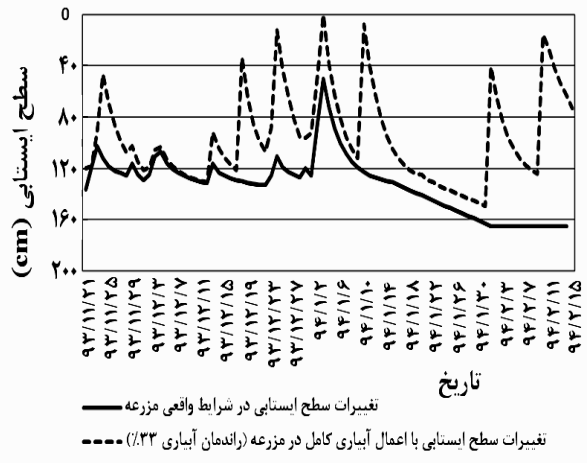
نمودن راندمان‌های آبیاری ۳۳٪، ۴۰٪ و ۴۵٪ (مطابق جدول ۸) بررسی دیگری انجام پذیرفت.

در این شرایط، نوسانات سطح ایستابی در هریک از راندمان‌های آبیاری مطابق با شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ بود. لازم به‌ذکر است که با توجه به عملکرد نزدیک به هم هر دو تیمار آزمایشی، نتایج بررسی نوسانات سطح ایستابی با اعمال آبیاری کامل مزرعه، تنها در واحد شماره ۳ ارائه شده است.

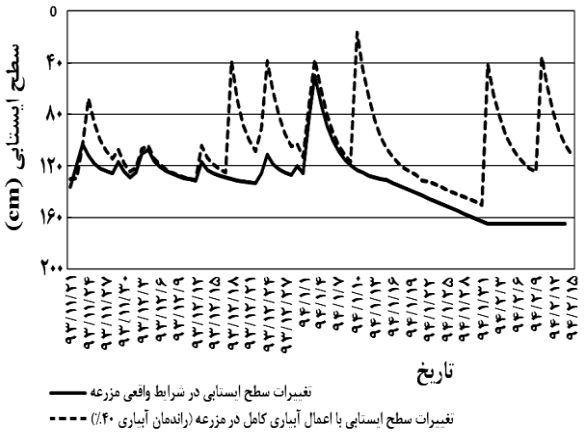
مطابق با شکل‌های ۱۱ و ۱۲، هرچند با آبیاری کامل مزرعه در دو راندمان آبیاری ۳۳٪ و ۴۰٪ به‌ترتیب در ۴ و ۳ دوره شاهد غرقاب بیش از ۴۸ ساعت در عمق کمتر از ۶۵ سانتی‌متری از سطح خاک (عمق مؤثر تجمع ریشه‌ها) خواهیم بود، اما همان‌طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، شرایط غرقاب در راندمان آبیاری ۴۵٪ تا حد زیادی بهبود یافته است، به‌طوری‌که در این راندمان، غرقاب بیش از ۴۸ ساعت در ۶۵ سانتی‌متر فوقانی سطح خاک (منطقه توسعه ریشه-ها) تنها یک بار اتفاق افتاد. بنابراین، در صورتی‌که اجرای عملیات آبیاری با راندمان‌های بیش از ۴۵٪ میسر باشد، قادر به آبیاری کامل مزرعه، بدون ایجاد مشکل خاصی برای محصول بوده و زهکش‌ها به درستی عمل تخلیه زهاب اضافی را به انجام خواهند رساند.

جدول ۸- نیاز ناخالص آبیاری در راندمان‌های آبیاری ۳۳٪، ۴۰٪ و ۴۵٪

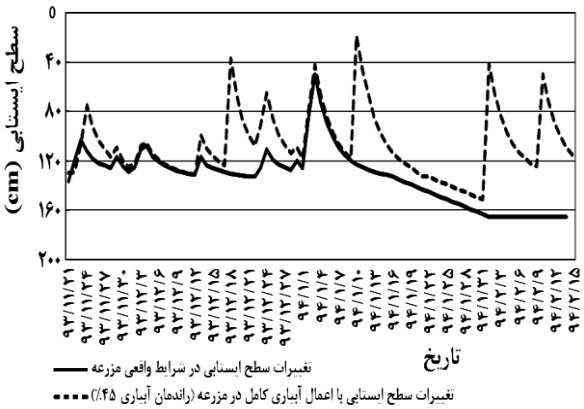
ماه‌های رشد / روز		تبخیر- تعرق پتانسیل (mm)	بارندگی موثر (mm)	نیاز ناخالص در راندمان آبیاری ۳۳٪ (mm)	نیاز ناخالص در راندمان آبیاری ۴۰٪ (mm)	نیاز ناخالص در راندمان آبیاری ۴۵٪ (mm)
آذر	۱	۱۶	۷	۷	۶	۵
دی	۱	۱۲	۶/۱	۰	۰	۰
دی	۲	۱۲	۲/۳	۰	۰	۰
دی	۳	۱۲	۵	۰	۰	۰
بهمن	۱	۱۴	۱۳/۳	۸	۶	۵
بهمن	۲	۱۷	۱۲/۶	۱۵	۱۳	۱۱
بهمن	۳	۲۰	۱۳/۱۳	۲۷	۲۳	۲۰
اسفند	۱	۲۲	۱۷	۲۱	۱۷	۱۵
اسفند	۲	۲۷	۱۲/۶	۵۸	۴۸	۴۲
اسفند	۳	۲۸	۹/۵	۴۴	۳۶	۳۲
فروردین	۱	۳۳	۳۴	۵۸	۴۸	۴۲
فروردین	۲	۳۹	۲۸	۱۰۱	۸۳	۷۴
فروردین	۳	۴۹	۰	۱۴۱	۱۱۶	۱۰۳
اردیبهشت	۱	۴۰	۰	۹۹	۸۱	۷۲



شکل ۱۱- مقایسه تغییرات سطح ایستابی در شرایط واقعی مزرعه با تغییرات سطح ایستابی در اثر آبیاری کامل مزرعه با راندمان آبیاری ۳۳٪



شکل ۱۲- مقایسه تغییرات سطح ایستابی در شرایط واقعی مزرعه با تغییرات سطح ایستابی در اثر آبیاری کامل مزرعه با راندمان آبیاری ۴۰٪



شکل ۱۳- مقایسه تغییرات سطح ایستابی در شرایط واقعی مزرعه با تغییرات سطح ایستابی در اثر آبیاری کامل مزرعه با راندمان آبیاری ۴۵٪

نتیجه‌گیری

در مرحله طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی و به عنوان اصلی نانوشته، معمول است که جهت اجرای عملیات آبیاری سطحی در مزرعه به صورت عمود بر جهت کارگذاری لوله‌های زهکش زیرزمینی در نظر گرفته شود، اما در عمل و در بسیاری از مناطق، نمی‌توان چنین شرایطی را فراهم نمود. لذا این امر نگرانی‌هایی را از نظر نحوه عملکرد سیستم زهکشی، به خصوص برای متولیان اجرای پروژه‌های زهکشی کشور (و در رأس آنها مؤسسه جهاد نصر) به دنبال داشته است. بنابراین، با بهره‌گیری از داده‌های مزرعه‌ای حاصل از ارزیابی عملکرد سیستم زهکشی در این دو حالت در دشت میان‌آب استان خوزستان، شبیه‌سازی کنترل سطح ایستابی توسط زهکش‌های زیرزمینی با استفاده از مدل DRAINMOD انجام شد. استفاده از مدل پس از واسنجی و صحت‌سنجی، علاوه بر تأمین امکان اجرای آزمون‌های تعریف شده دیگر در منطقه و نیز برای سایر مناطق دارای شرایط مشابه در دشت میان آب و استان خوزستان، این امکان را فراهم نمود تا با هدف اجرای یک بررسی تکمیلی، امکان‌پذیری انجام آبیاری کامل در شرایط تامین آب و در راندمان‌های مختلف و اثر آن بر عملکرد سیستم زهکشی در کنترل سطح ایستابی نیز مورد تحلیل قرار گیرد. بر اساس نتایج حاصل، مدل DRAINMOD در شبیه-سازی سطوح ایستابی هر دو تیمار تحت بررسی، عملکرد رضایت بخشی داشت. به علاوه، نتایج شبیه‌سازی آبیاری کامل مزرعه با مدل DRAINMOD در یکی از واحدهای آزمایشی با مقادیر آب مورد نیاز برای آبیاری کامل مزرعه در سه راندمان آبیاری ۳۳٪، ۴۰٪ و ۴۵٪ (محاسبه شده توسط مدل AGWAT) و مشاهده نوسانات سطوح ایستابی، نشان داد که آبیاری کامل مزرعه با راندمان آبیاری ۴۵٪، بدون ایجاد مشکل غرقابی در منطقه توسعه ریشه‌ها و با کارایی مناسب سیستم زهکشی زیرزمینی در منطقه میسر است.

تشکر و قدردانی

در این مطالعه، از داده‌های حاصل از تحقیقات انجام شده با

مساعدت‌های مالی و اجرایی مؤسسه جهاد نصر و مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و نیز از راهنمایی‌های ارزنده جناب آقای دکتر لیاقت، استاد محترم دانشگاه تهران استفاده به عمل آمد که بدین وسیله، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

بابازاده،ح.، خدادادی دهکردی،د.، رفیعی نیا،ا.، شمس نیا،س و نوروزی اقدم،ا. ۱۳۸۹. ارزیابی سیستم زهکش زیرزمینی نخیلات آبادان از نظر زهاب خروجی و تأثیر آن بر نوسانات سطح ایستابی با استفاده از مدل DRAINMOD. مجله دانش آب و خاک. ۲۰/۱. ۳: ۱۹۸-۱۸۵.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۸۴. دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک به روش‌های مختلف. معاونت امور فنی، نشریه شماره ۳۲۲.

سمیع پور،ف.، محمدی،ک.، مهدیان،م. و ناصری،ا. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل‌های زهکشی SWAP و DRAINMOD به منظور تعیین عمق و فاصله بهینه زهکش‌ها بر اساس بیش‌ترین عملکرد محصول و کم‌ترین مقدار خروجی زهاب. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۳.۴: ۳۸۶-۳۷۵.

عزیزی،آ. و حسن‌اقلی،ح. ۱۳۹۴. مقایسه عملکرد لترال‌های زهکشی احداثی در امتداد و عمود بر جهت آبیاری. گزارش پژوهشی نهایی: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج. ایران.

علیزاده،ا. ۱۳۸۴. زهکشی جدید، چاپ اول. مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).

Barkle,G.F., Brown,T.N., Painter,D.J and Singleton, P.L. 1998. Hydrology models DRAINMOD and SWIM applied to large soil lysimeters with artificial drianage. Austrailian Journal of Soil Research. 36.5: 783-797.

Haan,P.K. and Skaggs,R.W. 2003. Effect of parameter uncertainty on DRAINMOD predictions: I. Hydrology and yield. Transactions of the ASAE. 46.4: 1061-1067.

Kameka,A.R. 2009. The impacts of drainage water management on water table depth, drain flow and yield. Ph.D. thesis. Purdue University.

Ma,L., Malone,R.W., Heilman,P., Jaynes,D.B., Ahuja,L.R. and Saseendran,S.A. 2007. RZWQM simulated effects of crop rotation, tillage and controlled drainage on crop yield and nitrate-N loss in drain flow. Geoderma. 140: 260-271.

Malota,M. and Senzanje,A. 2015. Modeling mid-span water table depth and drainage discharge dynamics using DRAINMOD 6.1 in a sugarcane field in Pongola, South Africa. Water S.A. [online] 41.3: 325-334.

Sands,G.R., Jin,C.X., Mendez,A., Basin,B., Wotzka,P. and Gowda,P. 2003. Comparing the subsurface drainage flow prediction of the DRAINMOD and ADAPT models for cold climate. Transactions of the ASAE. 46.3: 645-656.

Sinai,G. and Jain,P.K. 2005. Evaluation of DRAINMOD for predicting water table heights in irrigated fields at the Jordan Valley. Journal of Agricultural Water Management. 79: 137-159.

Skaggs,R.W. 1978. A water management model for shallow water table soils. Technical Report No. 134. Raleigh, N.C: North Carolina State University, Water Resources Research Institute.

Skaggs,R.W. 1980. DRAINMOD Reference Report: Methods for design and evaluation of drainage water management system for soils with high water tables. United State Department of Agriculture.

Skaggs,R.W. 1982. Field evaluation of a water management simulation model, DRAINMOD. Transacations of the ASAE. 25.3: 666-674.

Skaggs,R.W., Youssef,M.A. and Chescheir,G.M. 2012. DRAINMOD: model use, calibration and validation. Transactions of the ASABE. 55.4: 1509-1522.

Workman,S.R., Skaggs,R.W., Parsons,J.E. and Rice,J. 1986. DRAINMOD Users Manual. Biological and Agricultural Engineering Department, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA, p. 90.

Youssef,M.A., Skaggs,R.W., Gilliam,J.W. and Chescheir,G.M. 2006. Field evaluation of a model for predicting nitrogen losses from drained lands. Journal of Environmental Quality. 35.6: 2026-2042.

Zhiming,Q., Singh,R., Helmers,M and Zhou,X. 2015. Evaluating the performance of DRAINMOD using soil hydraulic parameters derived by various methods. Journal of Agricultural Water Management.155: 48-52.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 11, Feb.-Mar. 2018, p. 1130-1142

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶ جلد ۱۱، بهمن - اسفند ۱۳۹۶، ص. ۱۱۴۲-۱۱۳۰

Simulation of Subsurface Drains Performance Along and Perpendicular to the Irrigation Direction by the DRAINMOD Model

Z. Khaleghi[1], A. Hassanoghli[2]*, S.M. Mirlatifi[3]
Recived: Jul.21, 2017 Accepted: Agu.29, 2017

Abstract

At designing stage of subsurface drainage systems, the direction of surface irrigation is considered perpendicular to the orientation of drain pipes. However in practice, irrigation might be conducted alongside the subsurface drains for executive reasons. The purpose of this study is to simulate and compare the performance of subsurface drainage along and perpendicular to the irrigation by the DRAINMOD model. Therefore, measured data from 4 experimental units (including water table and drains discharge) in one of the irrigation and drainage projects in Mian-Aab plain of Khuzestan province was utilized. Irrigation was perpendicular to subsurface drains in 2 units (each unit contains 5 lines of subsurface drains) and parallel in the others. To compare the observations and results of the model, operation of the model in simulating water table in both treatments were calibrated and validated. Root Mean Squared Error (RMSE) in the calibration and validation periods for treatment in which drainage is perpendicular to irrigation was respectively 10.25 and 12.97, and in treatment with parallel drains to the irrigation direction was 13.04 and 13.87. These values represent success of the model in simulation of water table in both treatments. Since, irrigation is conducted based on allocated water rights in the experimental units with deficit irrigation conditions; possibility of full irrigation in the units is investigated at irrigation efficiency of 33%, 40% and 45% by the model. The results of simulation showed that drains can successfully control water table at irrigation efficiency of 45% and full irrigation might be possible in this irrigation efficiency.

Keywords: DRAINMOD model, Irrigations direction to drainage, Khuzestan, Subsurface drainage, Water table fluctuation

1- M.Sc. Graduated of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University
2- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Karaj
3- Associate Professor of Irrigation and Drainage, Tarbiat Modares University
(*- Corresponding Author, Email: arho49@yahoo.com)